



**WASSERSTOFF
KOMPASS**



ENERGIEVERSORGUNG

Gebäudewärme





WASSERSTOFF KOMPASS

ÜBERGREIFENDE ASPEKTE

- Regulatorischer Rahmen
- Zielgerichteter H₂-Einsatz
- Fachkräftesicherung
- Akzeptanz und Sicherheit
- Klima und Ressourcen

BEREITSTELLUNG

- H₂-Erzeugung
- H₂-Import
- Infrastruktur

INDUSTRIEZWEIGE

- Stahlindustrie
- Chemische Industrie
- Raffinerien
- Zementindustrie
- Glasindustrie

MOBILITÄT UND TRANSPORT

- Kraftfahrzeuge
- Schifffahrt
- Luftverkehr
- Schienenverkehr

ENERGIEVERSORGUNG

- Gebäudewärme**
- Prozesswärme
- Stromsystem

GLOSSAR

1 Generelle Aspekte zur Gebäudewärme

- 2 Wohnflächenentwicklung und Energiemix
- 3 Energetische Sanierungen
- 3 Vielzahl klimaneutraler Alternativen
- 4 Ökonomische Aspekte
- 5 Versorgungssicherheit
- 6 Endenergiebedarf
- 7 Treibhausgasemissionen
- 8 Wasserstoffbedarfe

9 Forschungs- und Entwicklungsbedarfe

- 9 Allgemeine Forschungs- und Entwicklungsbedarfe
- 10 Technologien zur Beheizung von Gebäuden mit Wasserstoff
- 10 Begleitforschung

11 Handlungsoptionen (Wasserstoff)

- 11 Wasserstoffbeimischung in Erdgasverteilnetze
- 16 Wasserstoffinselnetze
- 21 Wasserstoff in der Nah- und Fernwärme
- 25 Wasserstoff als Baustein (semi-)autarker Gebäude
- 28 Indirekte Nutzung von Wasserstoff: Abwärme von Elektrolyseuren
- 33 Synthetisches Methan in der Gebäudewärme
- 37 Einsatz synthetischen Heizöls
- 41 Direkte und indirekte Nutzung von Wasserstoff im Quartier

46 Handlungsoptionen (andere Technologien)

- 46 Biomassenutzung
- 49 Biomethan in der Gebäudewärme
- 52 Elektrifizierung mit Wärmepumpen
- 55 Energetische Sanierungen

56 Literatur

Gebäudewärme

- › 21 Millionen beheizte Gebäude, davon circa 80 Prozent Wohngebäude, sind in Deutschland mit Wärme zu versorgen.^[3]
- › Die Wärmeversorgung von Gebäuden ist ein sehr heterogenes Feld mit deutlichen regionalen beziehungsweise lokalen Unterschieden. Abhängig von den örtlichen Verhältnissen werden deshalb unterschiedliche Lösungen zum Einsatz kommen.
- › In Energiesystemstudien wird insbesondere die Rolle von Wärmepumpen beziehungsweise von erneuerbarem Strom hervorgehoben.
- › Wasserstoff und synthetische Energieträger sind vor allem für Nah- und Fernwärme oder (innerstädtische) Inselnetze von Bedeutung. Von einem breiten Wasserstoffeinsatz in der Gebäudewärme gehen nur wenige Akteure aus.

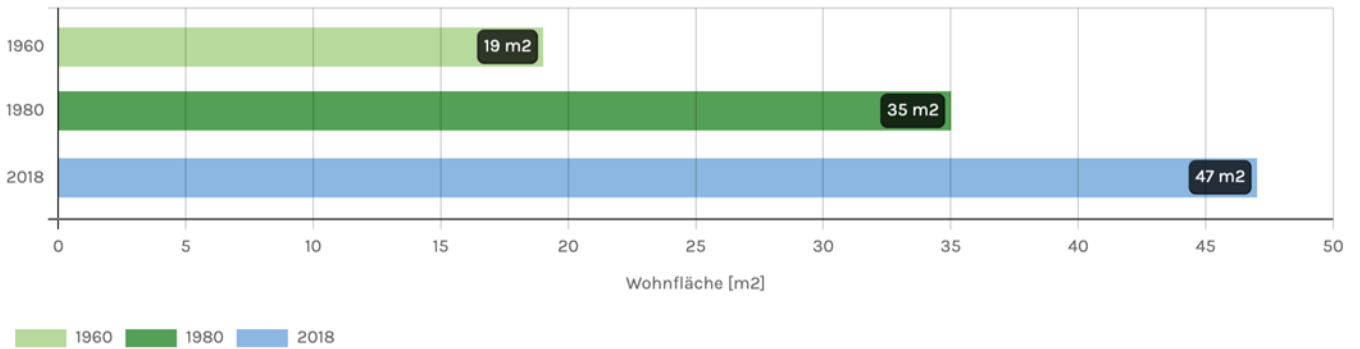
Generelle Aspekte zur Gebäudewärme

Je nach lokalen Gegebenheiten werden in der Gebäudewärme derzeit verschiedene Energieträger genutzt und auf unterschiedlichen Wegen bereitgestellt. Relevant für eine zukünftige klimaneutrale Wärmebereitstellung sind somit im Wesentlichen lokale Aspekte, vor allem die vorhandene Infrastruktur. Aber auch Gebäudetyp und -alter sowie die erwartete Bevölkerungsentwicklung spielen eine wesentliche Rolle. Orientierung kann hier eine kommunale Wärmeplanung bieten. Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung wird daher in Zukunft vermutlich eine Vielzahl technologischer Möglichkeiten in unterschiedlichem Maße eingesetzt werden.

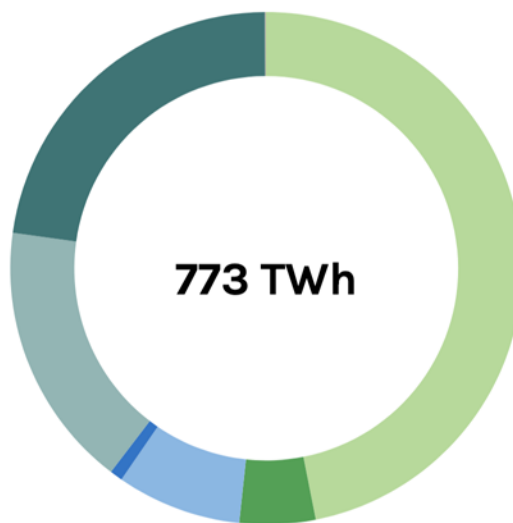
Wohnflächenentwicklung und Energiemix

Die Wohnfläche pro Person steigt mit zunehmendem Wohlstand seit Jahrzehnten.^[3] Dies bedeutet, dass insgesamt mehr Fläche beheizt werden muss. Der Endenergiebedarf des Sektors beträgt etwa 770 Terawattstunden.^[6] Derzeit wird Gebäudewärme (Raumwärme und Warmwasser) hauptsächlich aus Erdöl und Erdgas bereitgestellt.^[6]

Entwicklung der Wohnfläche pro Person in Quadratmetern ^[3]



Endenergieverbrauch 2020 in der Gebäudewärme in Terawattstunden nach Energieträgern ^[6]

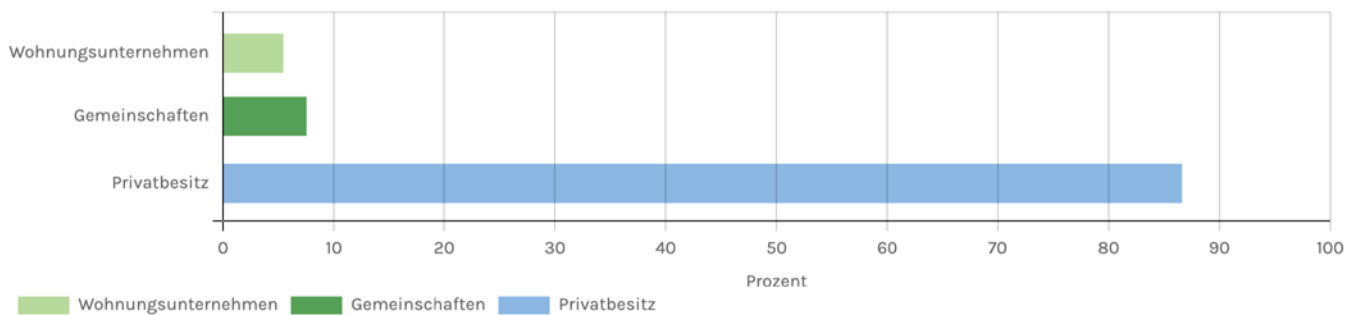


Energetische Sanierungen

Energetische Sanierungen (zum Beispiel Fassadendämmung, Fenster- oder Heizungs austausch) verringern den Endenergiebedarf von Gebäuden. Für die Erreichung der Klimaziele ergaben Modellierungen notwendige jährliche Sanierungsraten von etwa 1,4 bis 2 Prozent.^{[1] [2] [3] [4] [5]}

Die tatsächliche Sanierungsrate der letzten Jahre lag hingegen unterhalb von einem Prozent. Unsicherheiten bezüglich neuer gesetzlicher Vorgaben und hohe Investitionsausgaben verzögern energetische Sanierungen. Verstärkend wirkt, dass die meisten Privateigentümer*innen sich in einem fortgeschrittenen Lebensalter befinden. Längere Amortisationszeiten sind für sie häufig unattraktiv.^[3]

Eigentümer*innenstruktur von Wohngebäuden
in Prozent ^[3]



Vielzahl klimaneutraler Alternativen

In einem zukünftigen klimaneutralen Energiesystem müssen daher etwa achtzig Prozent des jetzigen Endenergiebedarfes durch klimaneutrale Alternativen bis spätestens 2045 ersetzt werden. Details dieser Transformation regelt das novellierte Gebäudeenergiegesetz.^[12] Technisch betrachtet gibt es mehrere Möglichkeiten:

- › Einsatz von erneuerbarem Strom in Wärmepumpen
- › Ersatz von Erdgas durch Wasserstoff
- › Ersatz von Erdgas durch synthetisches oder biogenes Methan
- › Ersatz fossilen Heizöls durch synthetische und/oder biogene Alternativen
- › Bereitstellung klimaneutraler Fernwärme, zum Beispiel durch Nutzung von Abwärme oder durch eine der bereits genannten Optionen

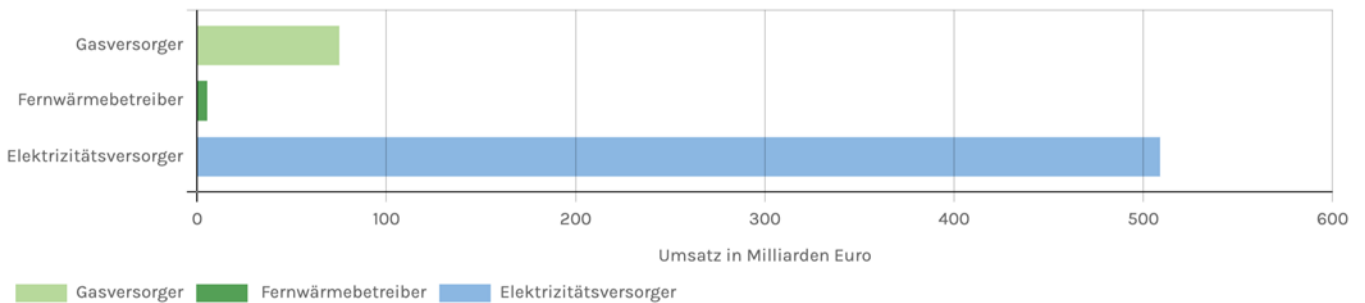
Für eine klimaneutrale Wärmeversorgung werden in Zukunft vermutlich alle genannten Optionen in unterschiedlichem Maße eingesetzt werden. Besonders deutlich wird in Energiesystemstudien^{[1] [2] [3] [4] [5]} die Rolle von Wärmepumpen beziehungsweise erneuerbarem Strom hervorgehoben.

Aber auch Wasserstoff und synthetische Energieträger werden aufgeführt, im Besonderen für die Bereitstellung von Nah- und Fernwärme oder in Inselnetzen, etwa in Innenstädten. In diesen kann der Einsatz von Wärmepumpen unter derzeitigen Rahmenbedingungen (zum Beispiel Auflagen zum Lärmschutz in Wohngebieten) und technischen Aspekten (unter anderem zu geringe Vorlauftemperaturen für unsanierte Altbauten) schwierig sein.

Ökonomische Aspekte

Zur Einordnung der wirtschaftlichen Relevanz der Gebäudewärme können Umsätze und Beschäftigungszahlen der Gas-, Fernwärme- und Elektrizitätsversorger dienen.

Umsätze der Gas-, Fernwärme- und Elektrizitätsversorger bezogen auf das Jahr 2019 ^[6]

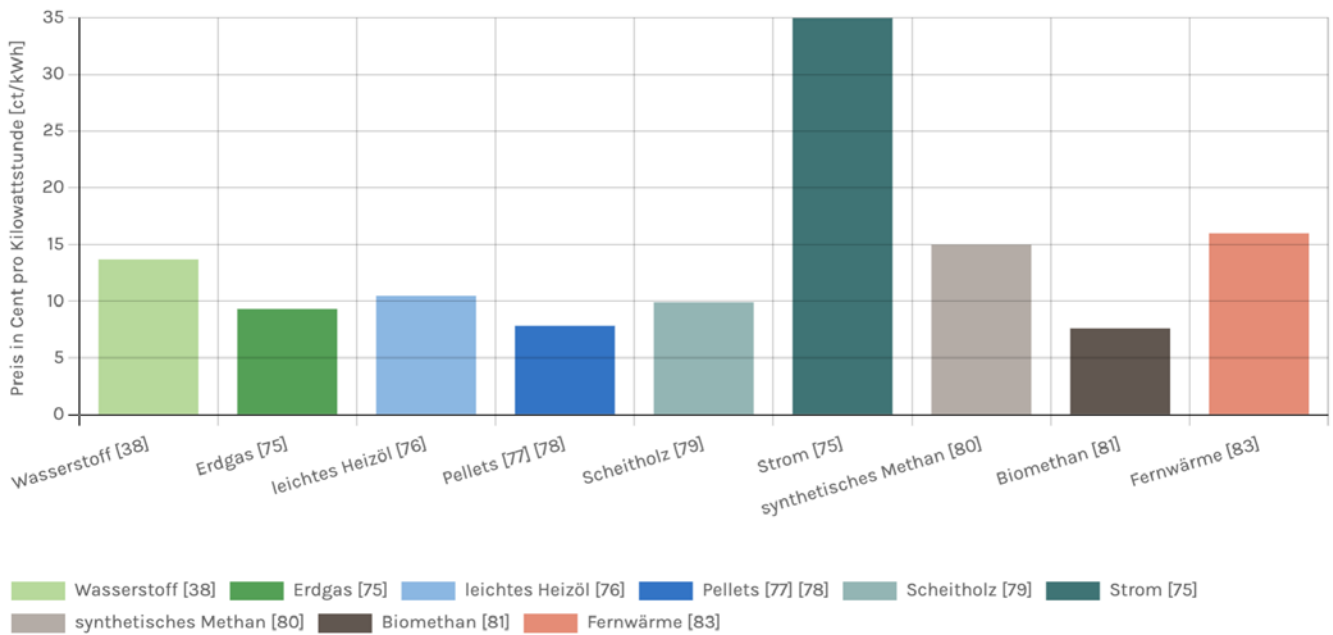


Im Bereich der Gebäudetechnik sind rund 500.000 Beschäftigte tätig; im Bereich Klempnerei, Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik sind es rund 300.000.^[10]

Wegen vieler verschiedener Einflussfaktoren, wie beispielsweise Rohstoffkosten, die für die Produktion von Brennstoffzellen oder Wärmepumpen benötigt werden, oder schwankender Brennstoff- beziehungsweise Energiepreise können nur schwer generelle Aussagen zur Preisentwicklung in der Gebäudewärme getroffen werden. Wettbewerbsfähige Technologien müssen aber in jedem Fall besonders energieeffizient sein.

Vergleich von Brennstoffpreisen

in Cent pro Kilowattstunde zum 1. August 2023.^{[30][61] [62][63][64][65][66][67] [68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030 ^{[30] [66]} und für Strom und Gas der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61]



Einen zunehmenden Einfluss wird im Zeitverlauf der steigende CO₂-Preis haben. Aktuell regelt das nationale Brennstoffemissionshandelsgesetz (BEHG) die CO₂-Bepreisung für die Gebäudewärme in Deutschland. Die Einbindung des Gebäudesektors in ein zweites Europäisches Emissionshandelssystem ist für 2027 geplant.^[9]

Versorgungssicherheit

Wärmebereitstellung ist ein wichtiger Aspekt der öffentlichen Daseinsvorsorge. Der Aspekt der Versorgungssicherheit hat somit besondere Relevanz. Zukünftig können insbesondere Abwärmenutzung und Sektorenkopplung den Primärenergieverbrauch senken und den Anteil heimischer Energiequellen erhöhen.

Geringere Importmengen beziehungsweise -anteile erhöhen tendenziell die Versorgungssicherheit in Bezug auf das deutsche Gesamtenergiesystem, vor allem mit Blick auf außereuropäische Energieimporte. Dies ist vor allem abhängig von einem schnellen Ausbau erneuerbarer Energien in Deutschland sowie einer entsprechenden Speicherinfrastruktur.

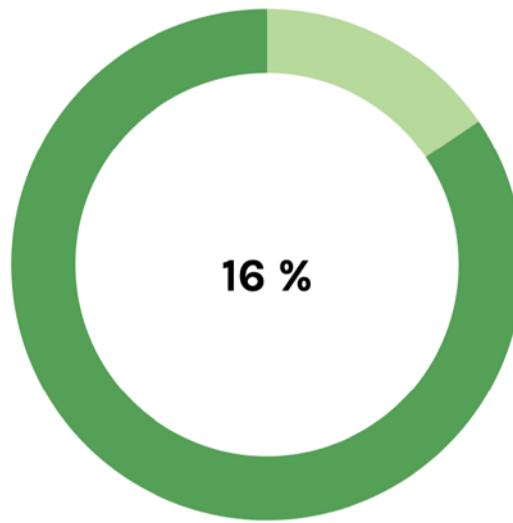
Eine breite Wasserstoffnutzung in der Gebäudewärme würde hohe Wasserstoffbedarfe generieren. Bei begrenzter Verfügbarkeit erneuerbaren Wasserstoffs würden in der Regel die in der Gebäudewärme eingesetzten Wasserstoffmengen dann zu Versorgungsdefiziten in anderen Sektoren, in denen es keine Defossilisierungsalternativen zu Wasserstoff und seinen Derivaten gibt, führen.



Treibhausgasemissionen

Im Bereich der Gebäudewärme fielen im Jahr 2021 118 Millionen Tonnen CO₂ an.^[8]

Anteil der Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich
im Jahr 2021 in Millionen Tonnen ^[8]



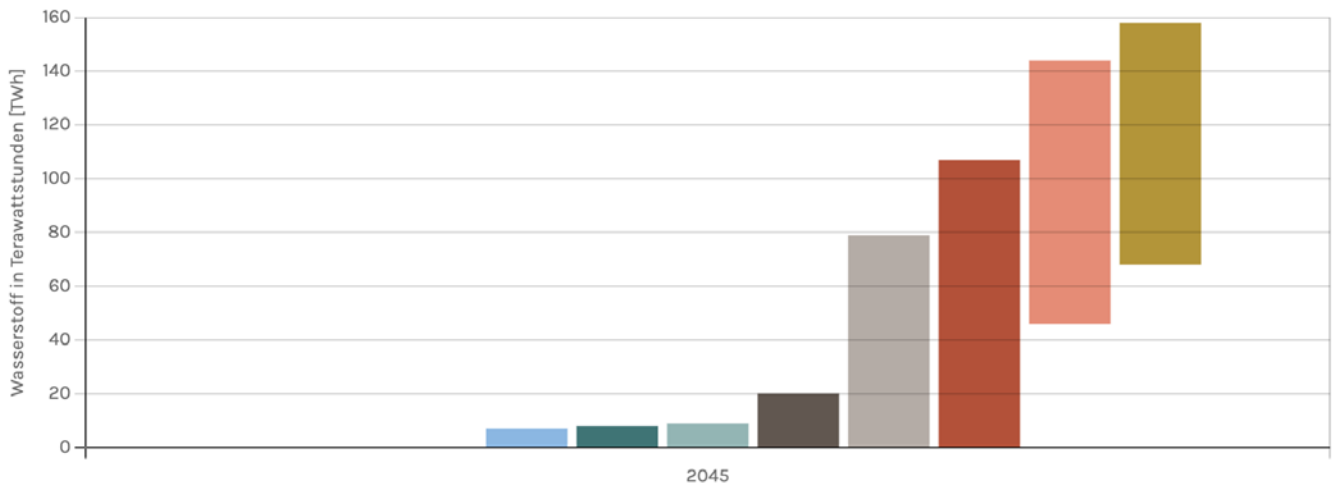
■ Gebäudewärme ■ restl. Emissionen

Wasserstoffbedarfe

Der Gesamtbedarf an Wasserstoff für die Gebäudewärme in einem klimaneutralen Energiesystem wird zwischen 0 und 150 Terawattstunden bis zum Jahr 2045/2050 eingeschätzt.^{[1][2][3][4][5]} Dies ist abhängig vom jeweiligen Szenario und insbesondere davon, ob darin Wasserstoff großflächig in den Gasverteilnetzen zum Einsatz kommen soll.

Wasserstoffbedarf in der Gebäudewärme

aus Studien für das Jahr 2045.^{[1][2][3][4][5]} Die unterschiedlichen Meinungen in der Stakeholderschaft spiegeln sich auch in den erwarteten Wasserstoffbedarfen aus Studien wider. In einigen Szenarien gibt es keinen Einsatz von Wasserstoff, wohingegen in anderen Wasserstoff in der Breite angewendet wird.



- LFS 3, T45-Strom [4]
 Agora, KN 2045 [2]
 Ariadne Elec_Dom [1]
 Ariadne Bal [1]
 Ariadne Elec_Imp [1]
- Ariadne SynF [1]
 BDI Zielpfad [5]
 dena-Leitstudie [3]
 LFS 3,T45-H2 [4]
 Ariadne H2_Dom [1]
- Ariadne H2_Imp [1]

Forschungs- und Entwicklungsbedarfe

Allgemeine Forschungs- und Entwicklungsbedarfe

Vermutlich wird es nicht nur eine Lösung, sondern viele verschiedene Wege der klimaneutralen Wärmebereitstellung im gesamten Bundesgebiet geben. Die Defossilisierung kann mithilfe der folgenden Energieträger erfolgen:

- › Wasserstoff
- › synthetisches Methan
- › Biogas/-Methan
- › Strom

Diese können über verschiedene Infrastrukturen zur Verfügung gestellt werden:

- › Erdgasnetze
- › Wasserstoffnetze
- › Stromnetz
- › Wärmenetze
- › hausinterne Systeme (unter anderem Photovoltaik und Solarthermie)

Zudem kann die Skalierung der Wärmebereitstellung auf folgenden Ebenen betrachtet werden:

- › Wohnung
- › Ein- und Zweifamilienhaus
- › Mehrfamilienhaus
- › Quartier oder Kommune

Zusätzlich können mehrere Technologien innerhalb eines Gebäudes oder Quartiers miteinander kombiniert werden.

Technologien zur Beheizung von Gebäuden mit Wasserstoff

Wasserstoff kann auf verschiedenen Wegen in einem Gebäude zum Einsatz kommen, je nach lokaler Infrastruktur und/oder kommunaler Wärmeplanung. Bei einem Wasserstoffeinsatz in der Gebäudewärme ergeben sich Forschungsbedarfe zu diesen Technologien und Ansätzen:

- › H₂-ready-Gasbrennwerttherme
- › Wasserstoffbrennwerttherme
- › Brennstoffzelle
- › Kopplungen an hybride Systeme, wie etwa die Wärmepumpe oder eine Solarthermieanlage
- › Technologien zur Bereitstellung von Fernwärme, wie etwa Gas- und Dampfturbinen

Weiterer Forschungs- und Entwicklungsbedarf besteht hinsichtlich:

- › Materialversprödung durch Wasserstoff von Anschlüssen, Leitungen und Komponenten
- › Wasserstoff-Reinheitsanforderungen
- › Netz- oder Systemdienlichkeit bei der Nutzung
- › Anpassung von Brennprozessen beim Wechsel von Erdgas auf Wasserstoff
- › Lokale Speichermöglichkeiten
- › Effizienzverbesserung

Begleitforschung

Neben den technologischen Forschungsbedarfen könnten weitere Fragestellungen aufkommen, etwa zur sozialen Akzeptanz und zu regionalen Umsetzungsmöglichkeiten. Auch weiterführende ökonomische und ökologische Analysen könnten notwendig sein.

PUBLIKATION

- › Wasserstoff-Kompass (2022): Fact Sheet. Wasserstoff im Gebäudesektor
https://www.wasserstoff-kompass.de/fileadmin/user_upload/img/news-und-media/dokumente/fact_sheet_wasserstoff_waerme.pdf

Handlungsoptionen Wasserstoff

Wasserstoffbeimischung in Erdgasverteilnetze

Grundsätzlich ist eine Beimischung von Wasserstoff in das bestehende Erdgasverteilnetz möglich, um die Wärmeversorgung zu defossilisieren. Das technische Regelwerk des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) regelt die Höhe des Wasserstoffanteils in Erdgasgemischen im Netz. Dies sind derzeit zehn Volumenprozent.^[15] Aufgrund von Prüfungen und Laboruntersuchungen wird erwartet, dass Gasthermen mit Wasserstoffgehalten von bis dreißig Volumenprozent betrieben werden können.^[16]

STIMMEN AUS DEM STAKEHOLDERDIALOG



› Im Fall einer Beimischung von bis zu 20 Volumenprozent in Erdgasverteilnetze sollte dies laut einer deutlichen Mehrheit (70 Prozent der Befragten in unserer Stakeholderumfrage) bis zum Jahr 2030 geschehen. Allerdings gaben 13 Prozent an, dass eine solche Beimischung überhaupt nicht stattfinden sollte.^[13] Dieser Meinungsunterschied löste im Rahmen des Stakeholder-Dialogs eine kontroverse Diskussion aus (siehe auch Vor- und Nachteile).^[13] Einerseits kann eine Beimischung den Hochlauf einer Wasserstoffwirtschaft unterstützen, indem sie eine hohe Nachfrage generiert. Andererseits könnte dies zu Lock-in-Effekten führen und somit (teilweise) den Einsatz effizienterer Technologien verhindern.

Voraussetzungen

- › Nach der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes ist ein Investitions- und Transformationsplan für die Umstellung auf Wasserstoff nötig.^[18]
- › Es muss genug Wasserstoff zuverlässig vorhanden sein, um diesen großflächig in Verteilnetze einspeisen zu können, zum Beispiel über den Anschluss an das European Hydrogen Backbone.
- › Wasserstoffimporte gelten als notwendige Voraussetzung für eine ausreichende Wasserstoffbereitstellung, da die prognostizierten Bedarfe die inländische Erzeugung signifikant übersteigen werden.
- › Leitungen müssen Wasserstoff gegenüber beständig sein (beispielsweise muss eine Versprödung durch Wasserstoff, die bei manchen Stahlsorten auftritt, ausgeschlossen werden).
- › Regulatorische Änderungen und technische Lösungen sind nötig: Wenn beispielsweise Methan-Tankstellen im Verteilnetz vorhanden sind, dürfen aktuell nur bis zu zwei Prozent Wasserstoff beigemischt werden.^[15]

Vorteile

- › Es ist ein schneller Hochlauf der Wasserstoffnachfrage bei vergleichsweise einfachem Ersatz fossilen Erdgases möglich. Die Verteilnetze können bereits große Mengen Wasserstoff bei niedrigen Beimischungsquoten aufnehmen und somit ausreichende Nachfrage zu Beginn des Markthochlaufs generieren.
- › Eine Weiternutzung vorhandener Infrastruktur, insbesondere von Gasleitungen, ist möglich.
- › Variable Wasserstoffmengen können aufgenommen werden. Dadurch können anfangs schwankende Liefermengen ausgeglichen werden.
- › Eine geringe Beimischung (bis zu zehn Volumenprozent) ist voraussichtlich mit geringem beziehungsweise keinem Aufwand für Privathaushalte verbunden.
- › Geringe Schwankungen in der Gaszusammensetzung sind voraussichtlich für Privatkund*innen unproblematisch.

Nachteile

- › Es ergibt sich eine geringe relative Treibhausgasminderung (circa sieben Prozent bei zwanzig Volumenprozent Wasserstoffbeimischung).
- › Es entsteht ein Entmischungsaufwand bei Abnehmenden, die Erdgas stofflich nutzen und/oder eine gleichmäßige Leistung und somit ein konstantes Gasgemisch benötigen.
- › Möglicherweise besteht keine homogene Gasmischung (Dichteschwankungen). Das bedeutet: Es könnten Bereiche mit unterschiedlichen Konzentrationen von Wasserstoff und Erdgas im Verteilnetz entstehen.
- › Die Gesamtenergieeffizienz fällt geringer aus als bei anderen Optionen, wie etwa der Wärmepumpe.
- › Es werden Anpassungen nötig bei Software, Flussmassenmessern, eventuell hausinternen Leitungen, und gegebenenfalls auch Endgeräten.

Folgen

- › Lock-in-Gefahr: Bei einer Beimischung von Wasserstoff wird Erdgas als Energieträger weitergenutzt, statt frühzeitig auf eine klimaneutrale Alternative umzusteigen. Dies kann einen Aufschub von energetischen Sanierungen in Privathaushalten (wie beispielsweise den Umstieg auf Wärmepumpen) zur Folge haben, da langfristig eine Steigerung auf 100 Volumenprozent Wasserstoff in Aussicht gestellt wird.
- › Eine Beimischung von 20 Volumenprozent Wasserstoff geht mit sehr hohen Wasserstoffbedarfen von bis zu 58 Terawattstunden einher.

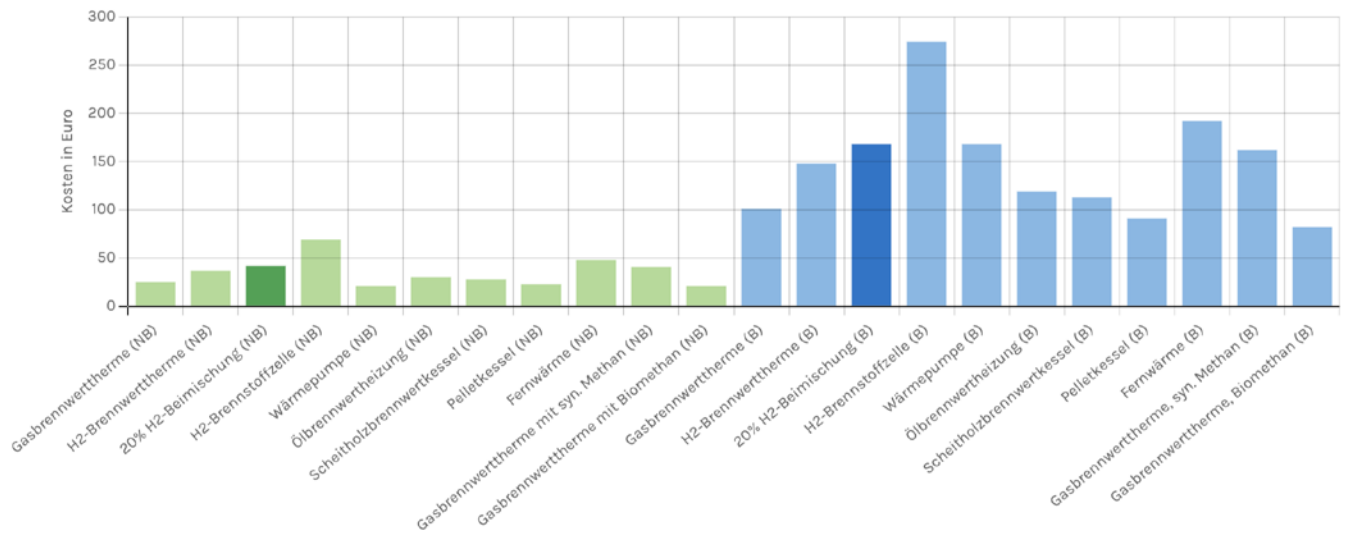
Ökonomische Aspekte

Trotz geringer Beimischung von Wasserstoff können bei manchen Endkund*innen Anpassungen beziehungsweise Investitionen nötig werden (Wechsel der Gasthermen, Leitungen, Software). Eventuell müssen Wasserstoff und Erdgas bei manchen Abnehmern wieder entmischt werden, etwa in der Industrie.

Auch bei Wasserstoffbeimischungen von weniger als dreißig Volumenprozent können Investitionen in die Infrastrukturnötig sein. Allerdings sollten diese geringer ausfallen als bei einer Umstellung auf einhundert Prozent Wasserstoff.

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61][62][63][64][65][66][67][68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30][66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



Versorgungssicherheit

Solange die Verfügbarkeit von erneuerbarem Wasserstoff gering ist, kann der Einfluss einer Wasserstoffbeimischung auf die Versorgungssicherheit mit Wasserstoff nicht endgültig abgeschätzt werden:

Anfangs könnte eine Wasserstoffbeimischung dazu beitragen, Wasserstoff bei schwankender Verfügbarkeit flexibel abzunehmen und damit den Aufbau der heimischen Produktion zu stützen, während sich die Nachfrage noch entwickelt.

Grundsätzlich bedeutet die Wasserstoffbeimischung allerdings, dass hohe Bedarfe anfallen. Solange die Verfügbarkeit von erneuerbarem Wasserstoff begrenzt ist, würde dieser dann eventuell anderen Sektoren und Branchen ohne Defossilisierungsalternativen zu Wasserstoff und seinen Derivaten nicht zur Verfügung stehen, beispielsweise der Stahl- oder der Chemieindustrie. Der Einfluss der Wasserstoffbeimischung auf das nationale Energiegesamtsystem kann derzeit nicht beurteilt werden.

Akteur*innen

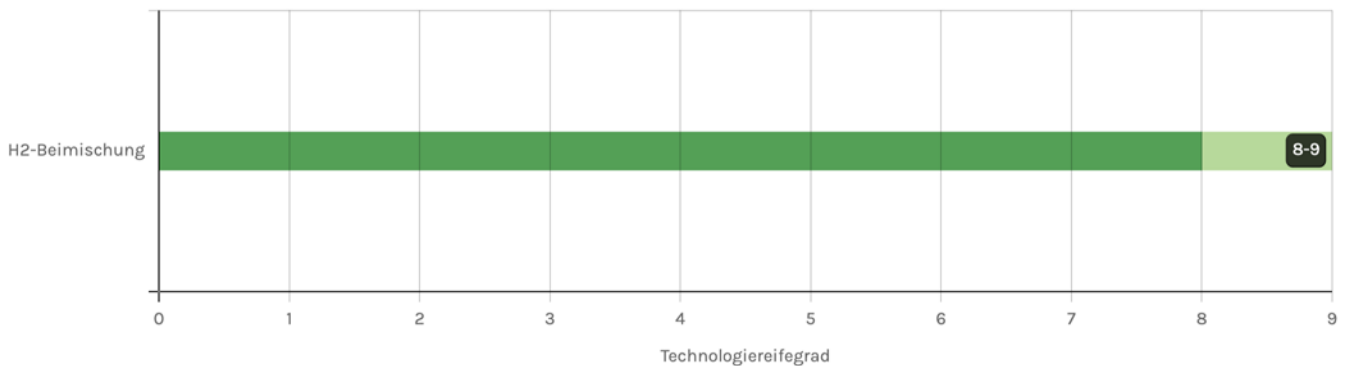
> Verteilnetzbetreiber (zum Beispiel Stadtwerke), Hauseigentümer*innen

Technologiereifegrad

Aktuell werden hierzu mehrere Projekte mit höheren Wasserstoffanteilen durchgeführt, beispielsweise H₂^[17] mit bis zu 20 Volumenprozent oder Wasserstoffinsel Öhringen^[21] mit bis zu 30 Volumenprozent. Niedrigere Anteile (weniger als zehn Volumenprozent) können dem Erdgasnetz bereits beigemischt werden, wie etwa derzeit in Haßfurt.^[19]

Technologiereifegrad

Technology Readiness Level (TRL)

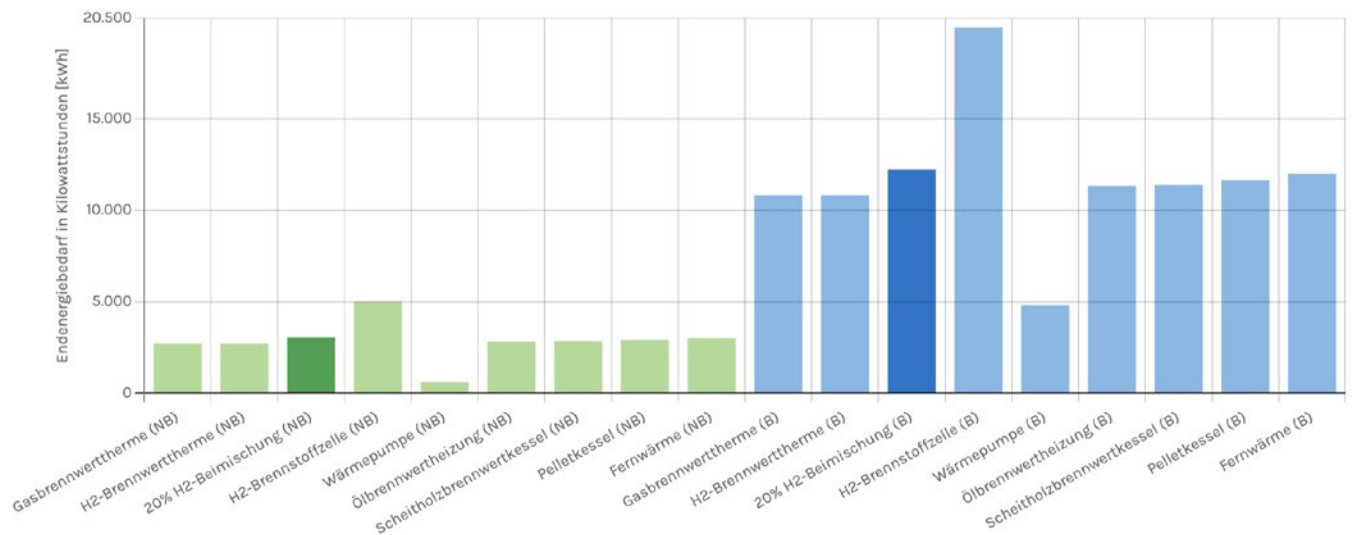


Endenergiebedarf

Der derzeitige Erdgaseinsatz in der Gebäudewärme beträgt 362 Terawattstunden, davon fallen 301 Terawattstunden in der Raumwärme und 62 Terawattstunden für die Bereitstellung von Warmwasser an.^[6] Ein Teil dieses Erdgases würde bei einer Wasserstoffbeimischung ersetzt werden.

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



H₂-Bedarfe

Der Wasserstoffbedarf ist abhängig vom beigemischten Volumen. Bei einem Ersatz von 20 Volumenprozent des jetzigen Erdgasverbrauches würden beispielsweise 58 Terawattstunden Wasserstoff benötigt. Dadurch sinkt allerdings auch die gesamte transportierte Energiemenge wegen der unterschiedlichen Energiedichten von Erdgas und Wasserstoff. Im Fall einer Beimischung würde Wasserstoff sowohl in der Gebäude- als auch in der Prozesswärme zum Einsatz kommen, da die Verteilnetze auch Industrie und Gewerbe versorgen.

AUSWAHL RELEVANTER PROJEKTE

> H2-20

<https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2-20/>

> Windgas Haßfurt

<https://green-planet-energy.de/blog/wissen/windgas/neuartiger-windgas-elektrolyseur-in-hassfurt-startet-testbetrieb/>

> Wasserstoffinsel Öhringen

<https://www.netze-bw.de/unsernetz/netzinnovationen/wasserstoff-insel>

> H2Mix

<https://www.h2-mix.de/>

Minderungspotential

Bei der Verbrennung von Erdgas entstehen 201 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde.^[20]

Es könnten 6,7 Tonnen CO₂ pro eingesetzter Tonne erneuerbaren Wasserstoffs anstelle von Erdgas bei einer Annahme von 201 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde Endenergie eingespart werden. Hierbei werden keine Emissionen von Wasserstoff über den Lebenszyklus berücksichtigt.

MASSNAHME

MASSNAHME

> Ausgestaltung der Netzzugangsregeln für lokal erzeugten Wasserstoff

Anlagenbetreiber erhielten die Möglichkeit, ihren Wasserstoff in das lokale Verteilnetz einzuspeisen. Die Netzbetreiber würden somit verpflichtet, diese Anlagen anzuschließen, analog zu Regelungen für Erneuerbare-Energien-Anlagen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).^[22] Dadurch kann eine heimische Wasserstoffproduktion angereizt werden.

INITIATOREN

- > Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- > Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

Wasserstoffinselnetze

Abhängig von den lokalen Gegebenheiten könnten Leitungen weitergenutzt oder umgerüstet werden. Teilweise könnte auch ein Neubau sinnvoll sein. In Deutschland umfassen Erdgasverteilnetze etwa 450.000 Kilometer. Grundsätzlich könnten diese bestehenden Erdgasverteilnetze auf eine Nutzung mit einhundert Prozent Wasserstoff umgestellt werden. Da übergangsweise noch Erdgas benötigt wird, kann eine Umstellung vermutlich nur schrittweise erfolgen. Dies könnte entweder zu kleineren, eigenständigen Netzteilen (Inselnetzen) oder zur Umstellung des gesamten Verteilnetzes führen.

STIMMEN AUS DEM STAKEHOLDERDIALOG



- > Sollte es zu einer Umstellung von Verteilnetzen auf 100 Prozent Wasserstoff kommen, dann sollte dies laut 10 Prozent der Befragten (in unserer 2021 durchgeführten Stakeholderumfrage) bis 2030 und laut weiteren 40 Prozent bis 2040 geschehen.

Voraussetzungen

- › Nach der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes ist ein Investitions- und Transformationsplan ^[18] für die Umstellung auf Wasserstoff nötig.
- › Die durchgehende Versorgung mit großen Mengen an Wasserstoff muss sichergestellt sein. Dies würde auch entsprechende Kapazitäten an H₂-Speichern erfordern.
- › Rechtliche und regulatorische Voraussetzungen für Wasserstoffnetze müssen geschaffen werden.
- › Teilweise müssen technische Anpassungen und Umrüstungen erfolgen, beispielsweise durch den Tausch von Dichtungen oder der Kompressoren.
- › Zu erwartende erforderliche Anpassungen bei Privathaushalten betreffen unter anderem die eingesetzte Software, Massenflussmesser und eventuell auch Modifikationen an hausinternen Gasleitungen.

Vorteile

- › Der Einsatz von Wasserstoff könnte eine klimaneutrale Wärmeversorgung in Bereichen mit enger Bebauung, mit Altbestand oder denkmalgeschützten Objekten, etwa in Innen- oder Altstädten ermöglichen.
- › Die Weiternutzung vorhandener Infrastruktur, insbesondere von Gasleitungen, ist möglich, wenn auch eventuell mit Anpassungen.

Nachteile

- › Beim Einsatz von H₂ handelt es sich nicht um die energieeffizienteste Möglichkeit der Wärmeversorgung, da H₂ zunächst erzeugt werden muss. Im Erzeugungsprozess treten dabei größere Energieverluste auf.
- › Es werden höhere Kosten für eine entsprechende auf Wasserstoff ausgelegte Infrastruktur erwartet, beispielsweise wegen anfallender Kosten für Neubau und Umrüstung sowie höherer Betriebskosten von Kompressoren, die mit erneuerbarem Strom betrieben werden sollten.

Folgen

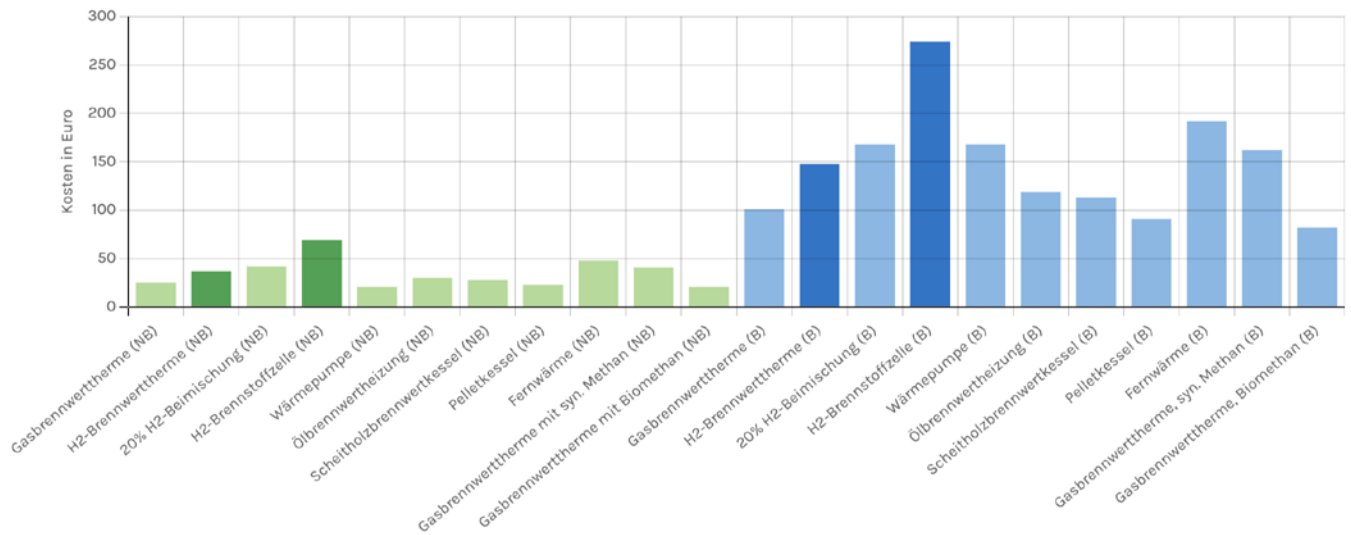
- › Es besteht die Möglichkeit, dass Inselnetze in Innenstädten eine Vorbildfunktion einnehmen und davon ausgehend ein weitflächiger Einsatz von H₂ im Gasverteilnetz gewünscht wird.
- › Ein möglicherweise angereizter breiter H₂-Einsatz im Gasverteilnetz hätte (teils regional) sehr hohe Wasserstoffbedarfe und die mögliche Gefahr eines fossilen Lock-ins zur Folge.
- › Entsprechend könnte es (regional) zu einem Aufschub von energetischen Sanierungen in Privathaushalten (wie etwa dem Umstieg auf Wärmepumpen) kommen.

Ökonomische Aspekte

Die Weiternutzung vorhandener Infrastruktur ist grundsätzlich ökonomisch vorteilhaft, erfordert allerdings auch zusätzliche Investitionen in weitere Infrastrukturmaßnahmen.

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61] [62][63][64][65][66][67] [68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30] [66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



Versorgungssicherheit

Die Abhängigkeit von hochpreisigem Wasserstoff in großen Mengen kann zu Problemen bei der Versorgungssicherheit führen. Solange die Verfügbarkeit von erneuerbarem Wasserstoff begrenzt ist, würde dieser dann eventuell anderen Sektoren, in denen es keine Defossilisierungsalternativen zu Wasserstoff und seinen Derivaten gibt, nur unzureichend zur Verfügung stehen.

Akteur*innen

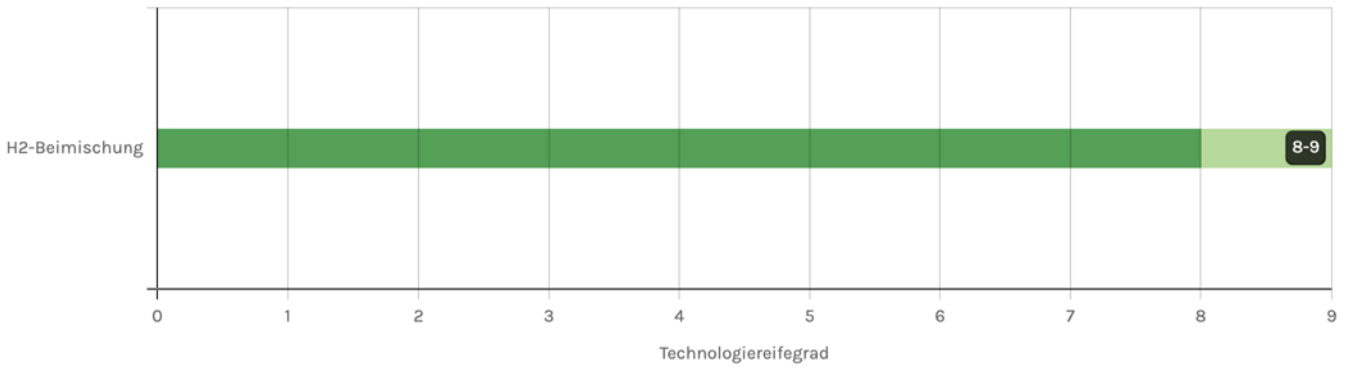
> Verteilnetzbetreiber (zum Beispiel Stadtwerke)

Technologiereifegrad

H₂-Leitungen sind bisher vor allem in der chemischen Industrie vorzufinden. H₂-Brennwertthermen werden verkauft, aber die Umstellung auf einhundert Prozent H₂ wird noch erprobt, zum Beispiel im Projekt H₂Direkt.

Technologiereifegrad

Technology Readiness Level (TRL)

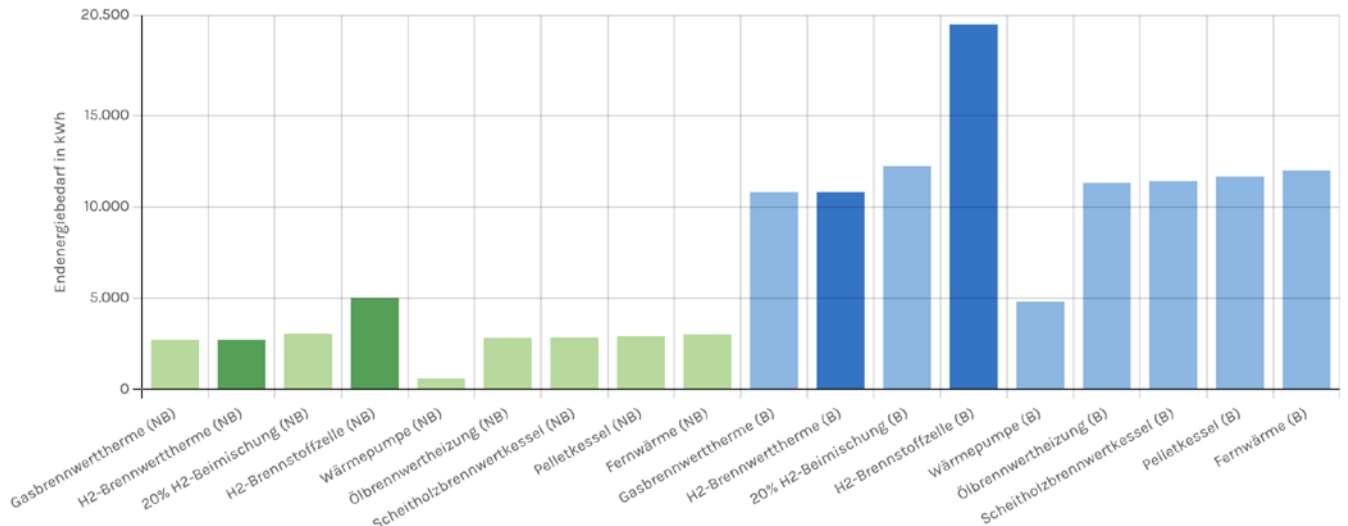


Endenergiebedarf

Im Jahr 2020 wurden 362 Terawattstunden Erdgas in der gesamten Gebäudewärme eingesetzt. Davon entfielen etwa 301 Terawattstunden auf die Raumwärme und knapp 62 Terawattstunden auf die Bereitstellung von Warmwasser.^[6] Dieser Endenergiebedarf würde dann mit Wasserstoff gedeckt.

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 m² im Neubau (NB) bzw. im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



H₂-Bedarfe

Bei flächendeckendem Einsatz in Gasverteilnetzen, sowohl durch anfängliche Beimischungen als auch in Inselnetzen, wurde für das Jahr 2045 ein Wasserstoffbedarf von bis zu 180 Terawattstunden pro Jahr modelliert.^[3] Sollte der gesamte Erdgasbedarf für Gebäude- und Prozesswärme mit Wasserstoff ersetzt werden, so würden die Bedarfe weiter steigen.

AUSWAHL RELEVANTER PROJEKTE

- > H₂Direkt
<https://www.esb.de/h2direkt>
- > H₂vorOrt
<https://www.h2vorort.de/>
- > SmartQuart Kaisersesch
<https://www.kaisersesch.de/aktuelles/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilungen/2022/oktober/spatenstich-smartquart-wasserstoff-fuer-die-energieversorgung-in-kaisersesch/>
- > H₂HoWi
<https://www.westenergie.de/de/landingpage/wasserstoff/h2howi.html>

Minderungspotential

Aus der Verbrennung von Erdgas entstehen 201 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde.^[23] Diese sollen durch den Einsatz von Wasserstoff vermieden werden.

Unter der Annahme, dass die 201 Gramm CO₂ pro Kilowattstunden Treibhausgasemissionen aus Erdgas durch den Einsatz von erneuerbarem H₂ gen Null gesenkt werden werden, könnten 6,7 Tonnen CO₂ pro Tonne Wasserstoff eingespart werden. Hierbei werden keine Emissionen des Stroms für die Elektrolyse eingesetzten Stroms oder klimawirksame Emissionen von Wasserstoff über den Lebenszyklus berücksichtigt.

MASSNAHME

MASSNAHME

> Ausgestaltung der Netzzugangsregeln für lokal erzeugten Wasserstoff

Anlagenbetreiber würden die Möglichkeit erhalten, ihren Wasserstoff in das lokale Verteilnetz einzuspeisen. Die Netzbetreiber würden somit verpflichtet, diese Anlagen anzuschließen, analog zu Regelungen für Erneuerbare-Energien-Anlagen im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG).^[22]

INITIATOREN

- > Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- > Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen

Wasserstoff in der Nah- und Fernwärme

Wasserstoff (H₂) könnte zur Bereitstellung von Nah- und Fernwärme genutzt werden. Dadurch können in Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen (KWK-Anlagen) Strom und Wärme beziehungsweise in Heizwerken Wärme generiert werden. Hierbei können verschiedene Technologien zum Einsatz kommen, etwa Motoren, Brennstoffzellen oder Gas- und Dampf-Turbinen.

Voraussetzungen

- › Die Anlagen und die jeweilige Technik müssen H₂-ready sein.
- › Die nötige Infrastruktur wie Nah- und Fernwärmenetze, insbesondere aber auch Wasserstofftransportnetze und -speicher müssen vorhanden sein.
- › Wasserstoffimporte gelten als notwendige Voraussetzung für eine ausreichende Bereitstellung, da die prognostizierten Bedarfe die inländische Erzeugung signifikant übersteigen werden.

Vorteile

- › Bestehende Anlagen und damit auch Vermögenswerte können teilweise nach Umrüstungen und Anpassungen weitergenutzt werden.
- › Technologieabhängig könnte eine gleichzeitige Bereitstellung von Strom und Wärme gewährleistet werden.
- › Eine schnelle Defossilisierung der Wärmeversorgung ganzer Gebiete wäre hierdurch möglich.

Nachteile

- › Verbrennung, beispielsweise in Heizwerken, ist nicht die effizienteste Nutzungsmöglichkeit von H₂, zum Beispiel im Vergleich zu elektrischen Wärmepumpen. In KWK-Anlagen können allerdings hohe Wirkungsgrade (mehr als 85 Prozent) erreicht werden.^{[31] [32]}
- › Hohe Kosten für die Erschließung neuer Gebiete, den Neubau von Leitungen und Anlagen sind zu erwarten.

Folgen

- › Es können hohe lokale Speicherbedarfe von Wasserstoff notwendig sein, um eine durchgehende Versorgung mit Wärme sicherzustellen. Dies ist allerdings stark von lokalen Gegebenheiten (insbesondere dem Vorhandensein von Infrastruktur) abhängig.
- › Je nach Technologie wird H₂ dann auch in der Stromversorgung genutzt.

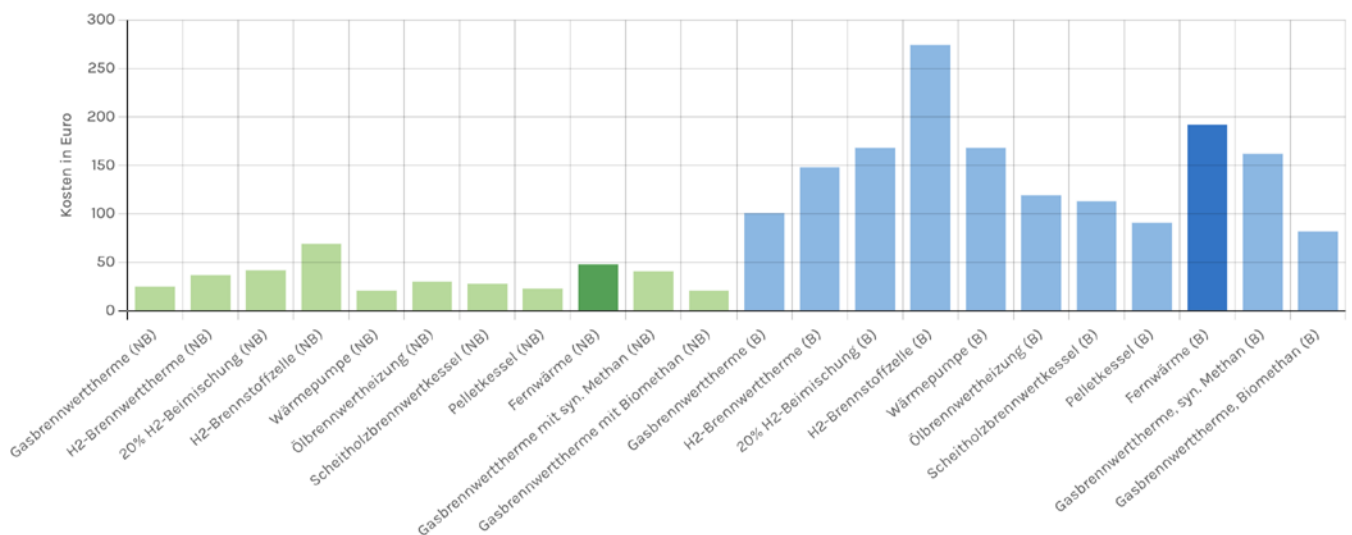
Ökonomische Aspekte

Ein Ausbau der Nah- und Fernwärme erfordert auch investitionsintensive Infrastrukturmaßnahmen.

Im Gegensatz zu anderen Wärmebereitstellungsarten stellt die Nah- und Fernwärme ein lokales Monopol dar.^[69]

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61] [62][63][64][65][66][67] [68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30] [66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



Versorgungssicherheit

Die ausreichende Versorgung mit Wasserstoff muss gewährleistet sein, um daraus durchgehend Fernwärme bereitstellen zu können. Als problematisch zu sehen ist, dass diese Mengen dann anderen Sektoren und Branchen ohne Defossilisierungsalternativen zu Wasserstoff und seinen Derivaten nicht zur Verfügung stehen würden, beispielsweise der Stahl- oder der Chemieindustrie.

Akteur*innen

- › Stadtwerke als Wärmeversorger
- › Industrie, Handel und Gewerbe bei Nah- und Fernwärme in Industriegebieten und auf Werksgeländen

Technologiereifegrad

Direkte Nutzung von Wasserstoff:

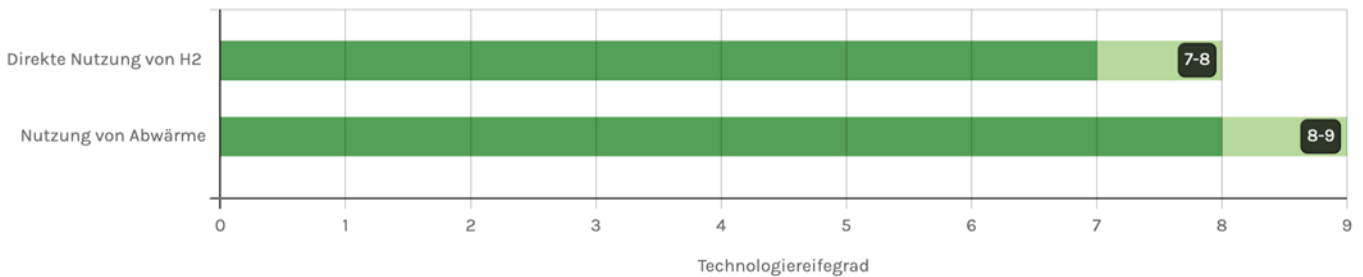
- > 7 bis 8
- > TH₂Eco ^[26], Küstenkraftwerk Kie ^[29]

Nutzung von Abwärme:

- > 8 bis 9
- > Neue Weststadt Esslingen ^[27], Bosbüll Fernwärme ^[28]

Technologiereifegrad

Technology Readiness Level (TRL)

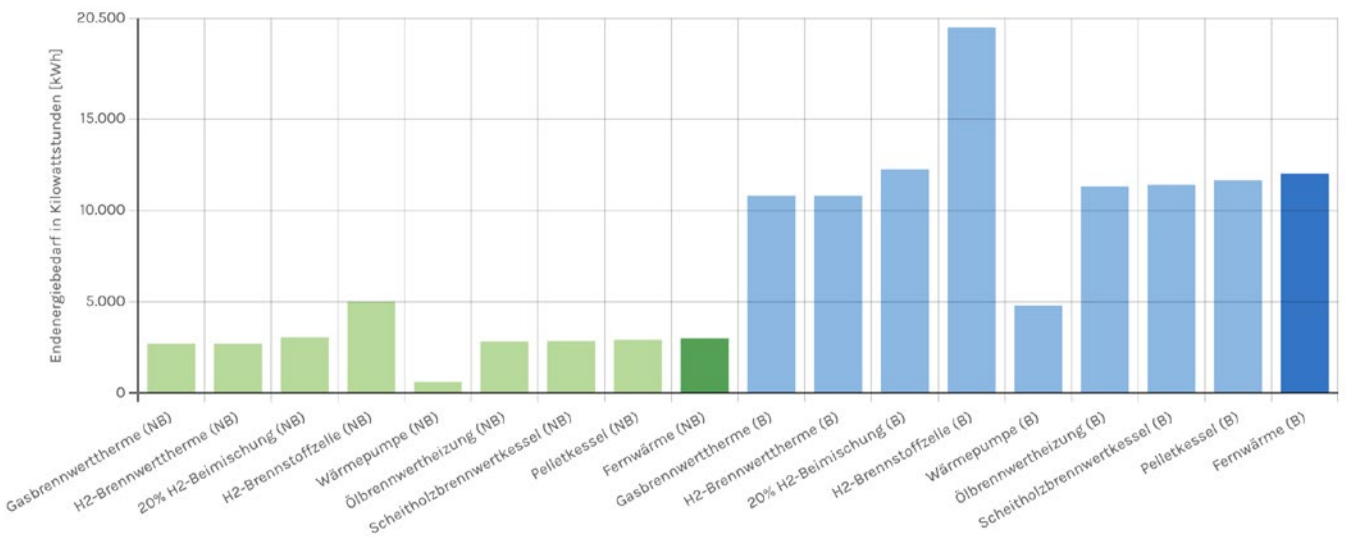


Endenergiebedarf

Im Jahr 2020 wurden für die Bereitstellung von Nah- und Fernwärme etwa 61 Terawattstunden benötigt.

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



H₂-Bedarfe

Unter der Annahme, dass sich der Anteil an Fernwärme im zukünftigen Energiesystem nicht verändert, müssten mindestens 61 Terawattstunden Fernwärme auf Basis erneuerbarer Energie bereitgestellt werden. Der Anteil von direkt eingesetztem H₂ im Jahr 2045 daran wird auf 13 bis 37 Terawattstunden geschätzt.^{[2][4]}

Minderungspotential

Treibhausgasemissionen können stark schwanken, da sehr viele verschiedene Brennstoffe eingesetzt werden. Bei der Bereitstellung von Fernwärme werden allgemein emittiert:

- > 54 bis 520 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde (kWh)^[23] beziehungsweise
- > 311 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde^[24]
- > Bei Nutzung von Braunkohle beispielsweise fallen 399 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde an.^[25]

Aktuell werden im Mittel 311 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde in der Nah- und Fernwärme emittiert.^[24] Würde diese Wärme durch erneuerbaren Wasserstoff bereitgestellt, könnten etwa zehn Tonnen CO₂ pro Tonne H₂ eingespart werden. Hierbei werden keine klimawirksamen Emissionen von Wasserstoff über den Lebenszyklus berücksichtigt.

AUSWAHL RELEVANTER PROJEKTE

Direkte Nutzung von Wasserstoff

- > TH2Eco
<https://www.th2eco.de/>
- > Küstenkraftwerk Kiel
<https://www.stadtwerke-kiel.de/ueber-uns/kuestenkraftwerk>

Nutzung von Abwärme

- > Neue Weststadt Esslingen
<https://neue-weststadt.de>
- > Bösbüll Fernwärme
<https://www.bosbuell-fernwaerme.de/>

MASSNAHME

MASSNAHME

> Fördermittel für die Umstellung auf Wasserstoff bereitstellen

Um den Einsatz von Wasserstoff zur Bereitstellung von Nah- und Fernwärme anzureizen, könnten Instrumente zur Steigerung der Nachfrage wie Fördermittel eingeführt werden.

INITIATOREN

- > Bund, Länder, Kommunen

Wasserstoff als Baustein (semi-)autarker Gebäude

Wasserstoff (H₂) kann in Wohngebäuden auch in (semi-)autarken Systemen zum Einsatz kommen. Zu den miteinander gekoppelten Systemkomponenten können unter anderem Photovoltaikanlagen, Elektrolyseure, Wärmepumpen, Brennstoffzellen und Wasserstoffspeicher gehören. Dabei kann H₂ sowohl direkt in Brennstoffzellen eingesetzt werden als auch indirekt, indem Abwärme von Elektrolyseuren genutzt wird. Für (semi-)autarke Systeme, zum Beispiel für größere Mehrfamilienhäuser oder in abgelegenen Regionen kann die Speicherbarkeit von Energie in Form von H₂ eine wichtige Rolle spielen.

STIMMEN AUS DEM STAKEHOLDERDIALOG



› Ein knappes Viertel der Teilnehmenden an unserer Stakeholderbefragung 2021 nannten eine erhöhte Versorgungssicherheit zum Beispiel durch dezentrale, (semi-)autarke Energiesysteme als eine der drei wichtigsten Chancen eines schnellen Markthochlaufs.^[13]

Vorteile

- › (Semi-)autarke Systeme entlasten das Stromnetz durch geringeren Strombedarf.
- › Durch die jüngsten Verwerfungen in der Energieversorgung gibt es ein gesteigertes Interesse am Autarkiekonzept. Eine Effizienzerhöhung ist möglich, wenn auch die Abwärme des Systems genutzt wird.
- › Autarke Systeme sind geeignet, um Verbraucher*innen in Regionen mit mäßiger Infrastrukturanbindung, beispielsweise ohne Gasverteilnetz, zu versorgen.

Nachteile

- › (Semi-)autarke Systeme sind mit einem Preis von 85.000 bis 120.000 Euro aktuell teurer als H₂-ready-Gasthermen oder die Einzelkomponenten eines autarken Systems, wie zum Beispiel Wärmepumpen.^[33]

Folgen

- › Wärme- und Gasnetze können eventuell nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden, wenn zu viele Verbrauchsstellen wegfallen würden.

Ökonomische Aspekte

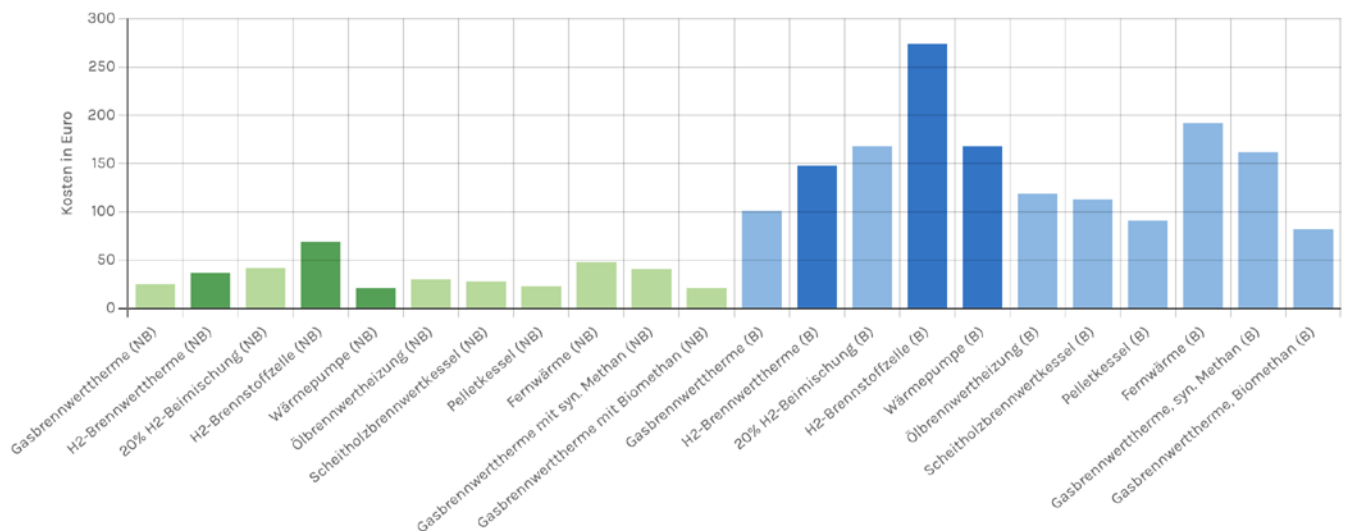
Gebäude, die ihren eigenen Energiebedarf (größtenteils) selbst decken, können Stromnetze entlasten und somit den Bedarf an investitionsintensivem Netzausbau verringern.

Durch Nichtanschluss an Gasnetze oder hybride Systeme in Nah- und Fernwärmenetzen können Geschäftsmodelle ihrer häufig kommunalen Betreiber unrentabel werden.

Die Wirtschaftlichkeit für Eigentümer*innen hängt stark von der Entwicklung der Gas- und Strompreise ab, von denen diese dann durch ihre (semi-)autarken Systeme (zumindest teilweise) entkoppelt sind.

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 01.08.2023. ^{[30][61][62][63][64][65][66][67][68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030 ^{[30][66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt. ^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



Versorgungssicherheit

Da sie die Stromnetzbelastung und die Abhängigkeit von Energieimporten verringern, können (semi-)autarke Systeme zur Versorgungssicherheit des Gesamtenergiesystems beitragen. Der Verbrauch des eigenerzeugten Wasserstoffs wirkt sich nicht negativ auf die Wasserstoffversorgung anderer Sektoren aus.

Akteur*innen

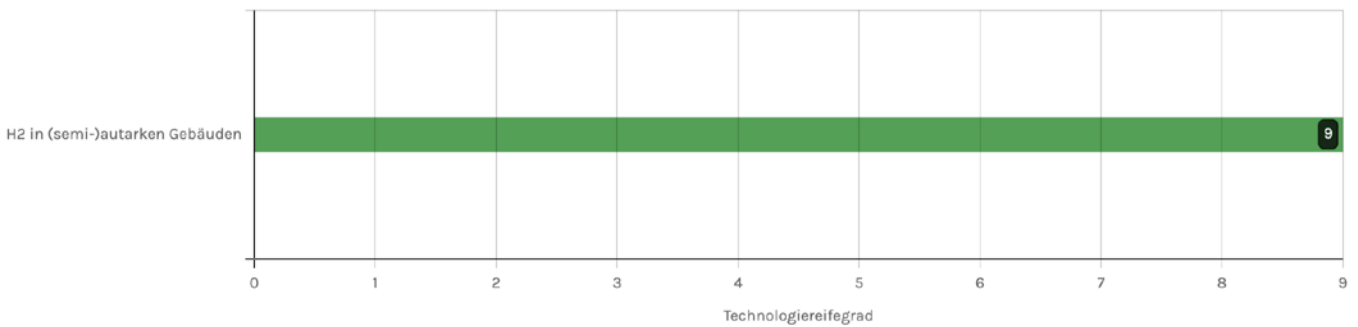
> Hauseigentümer*innen

Technologiereifegrad

H₂-basierte (semi-)autarke Heizsysteme stehen auf dem Markt zur Verfügung. ^[33]

Technologiereifegrad

Technology Readiness Level (TRL)

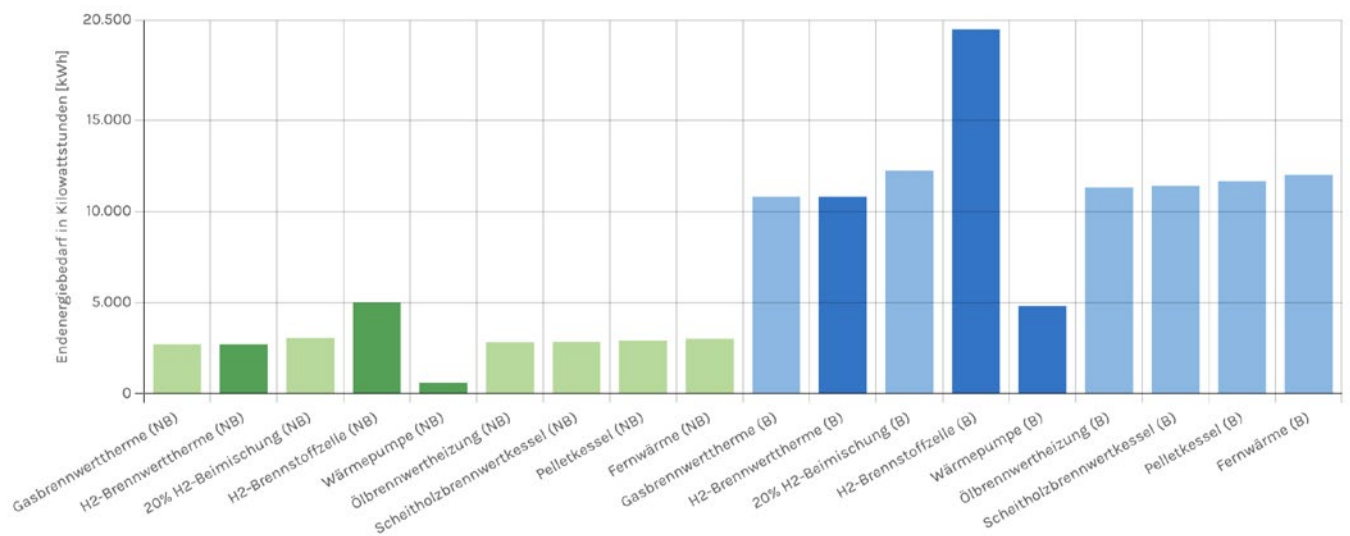


Endenergiebedarf

Da hier verschiedene Heizsysteme ersetzt werden können, orientiert sich ein Endenergiebedarf an der verwendeten Technologie (etwa der Brennstoffzelle und der der Wärmepumpe) beziehungsweise der Kombination derer.

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



H₂-Bedarfe

Wasserstoffbedarfe fallen außerhalb des Bilanzrahmens des Gesamtenergiesystems an.

AUSWAHL RELEVANTER PROJEKTE

> FlexEH₂ome
<https://flexehome.de/>

Minderungspotential

Die Treibhausgasemissionen sind schwer abschätzbar, da hier verschiedene Brennstoffe in verschiedenen Systemen ersetzt werden können. Diese Emissionen würden durch ein erneuerbares, (semi-)autarkes System gemindert oder sogar ganz entfallen.

Ein photovoltaikbasiertes H₂-Heizsystem mit hohem Autarkiegrad kann zu einer vollständigen CO₂-Äquivalente-Emissionseinsparung führen, sofern keine weiteren Lebenszyklusemissionen berücksichtigt werden.

MASSNAHME

MASSNAHME

> Staatliche Bezuschussung oder Förderung der Anschaffung von kleinen stationären Brennstoffzellen

Kleine, stationäre Brennstoffzellen können einen Teil eines autarken Gebäudesystems darstellen. Dies könnte durch eine Bezuschussung gefördert werden.

INITIATOR

> Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Indirekte Nutzung von Wasserstoff: Abwärme von Elektrolyseuren

Bei der Nutzung der Abwärme eines Elektrolyseurs handelt es sich um einen indirekten Einsatz von Wasserstoff, da dieser nicht direkt zur Beheizung von Gebäuden eingesetzt wird. Die Abwärme kann für Nah- und Fernwärmenetze mithilfe einer (Groß-)Wärmepumpe genutzt werden. Das Temperaturniveau der meisten Elektrolyseure ist kaum geeignet für Prozesswärme im industriellen Umfeld, aber ideal zur Beheizung von Gebäuden.

Voraussetzungen

- > Neben einem Elektrolyseur muss auch ein entsprechendes Wärmenetz vorhanden sein, in das eingespeist werden kann.

Vorteile

- > Die Bereitstellung von H₂ und klimaneutraler Wärme sind mit diesem Konzept gleichzeitig möglich.
- > Durch die Abwärmenutzung wird der Elektrolyseur gesamtenergetisch effizienter und wirtschaftlicher.

Nachteile

- > Lokale Gegebenheiten an den jeweiligen Standorten, etwa die Art des Elektrolyseurs und die benötigte Temperatur für das Wärmenetz, müssen berücksichtigt werden. Dies kann aufwendiger sein.
- > Die schwankende H₂-Erzeugung macht planbare Wärmebereitstellung schwierig. Elektrolyseure laufen eventuell nicht durchgehend, sondern zwischen 1.000 und 6.000 Volllaststunden pro Jahr. Dies könnte weitere Wärmequellen im Wärmenetz erfordern.

Folgen

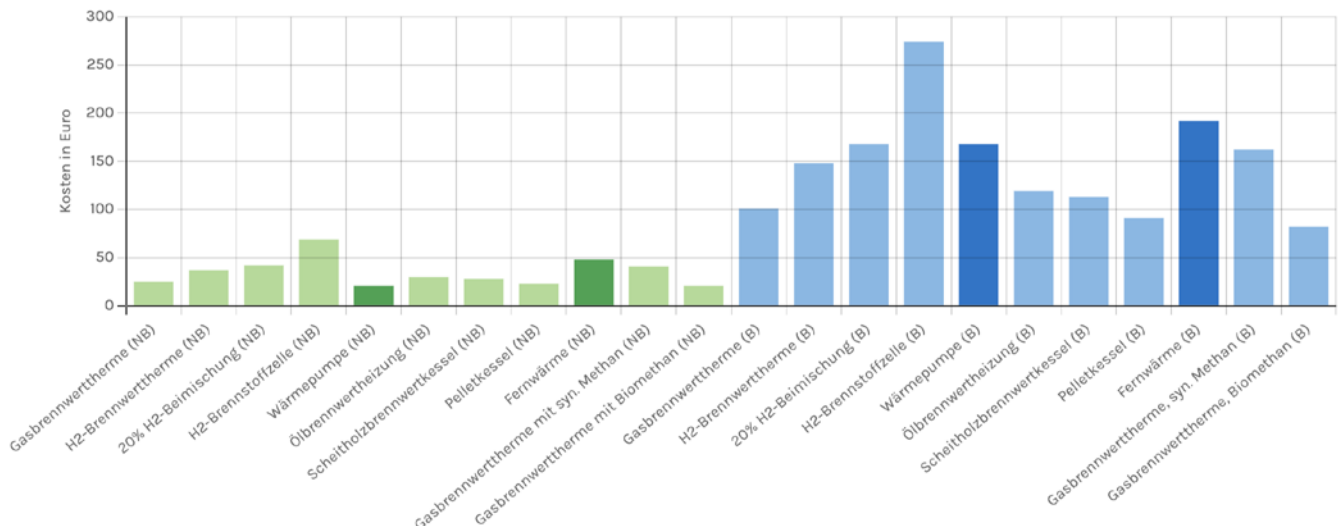
- > Nachdem aber Energiesystemmodellierungen fast nur noch Großwärmepumpen nutzen, müssen genügend Abwärmequellen gefunden und erschlossen werden.

Ökonomische Aspekte

Die Nutzung von Abwärme kann Elektrolyseprojekte rentabler machen, insbesondere in kleineren Nahwärmenetzen.^[28]

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61] [62][63][64][65][66][67] [68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30] [66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



Versorgungssicherheit

Durch die Abwärmenutzung erhöht sich die Energieausbeute eines Elektrolyseurs. Entsprechend verringert sich der Primärenergieverbrauch in einer Gesamtenergiesystembetrachtung, was sich wiederum tendenziell positiv auf die Versorgungssicherheit des Gesamtsystems auswirkt. Zusätzlich kann die Abwärmenutzung von Elektrolyseuren einen Beitrag zur sicheren Wärmeversorgung leisten.

Akteur*innen

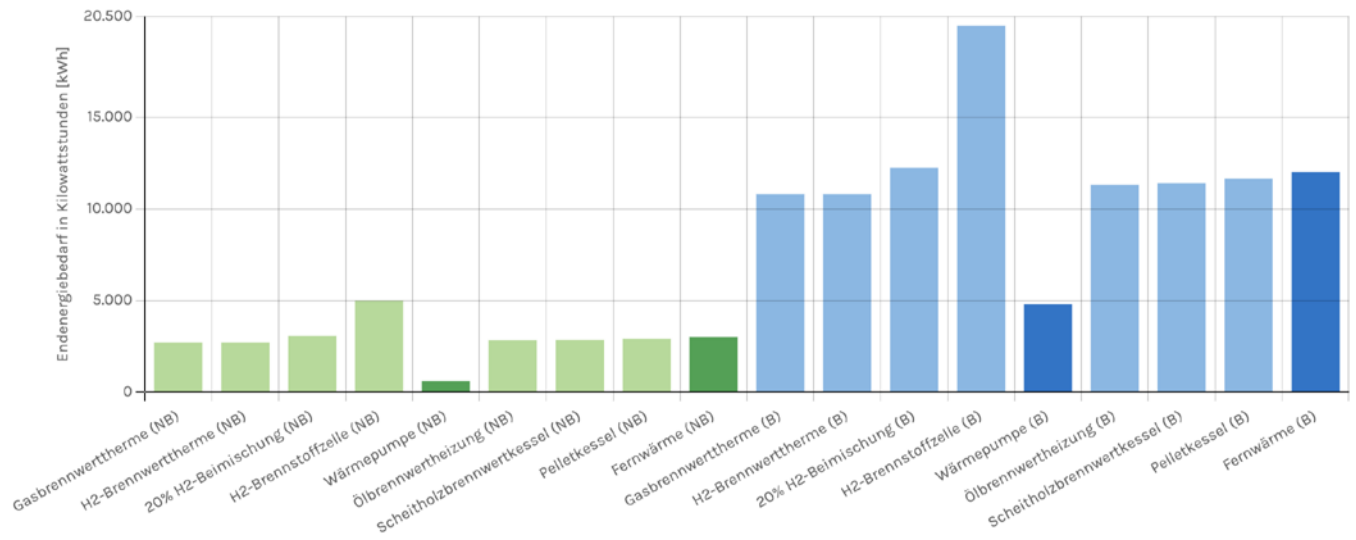
- > Wärmenetzbetreiber (zum Beispiel Stadtwerke)
- > Elektrolyseurbetreiber
- > Industrie, Handel und Gewerbe, wenn Abwärme für Nah- und Fernwärme in Industriegebieten und auf Werksgeländen anfällt und genutzt wird
- > Privathaushalte und Eigentumsgemeinschaften

Endenergiebedarf

Für die Bereitstellung dieser Abwärme zur Beheizung von Gebäuden kommt eine Wärmepumpe zum Einsatz.

Abschätzung der Endenergiebedarfe

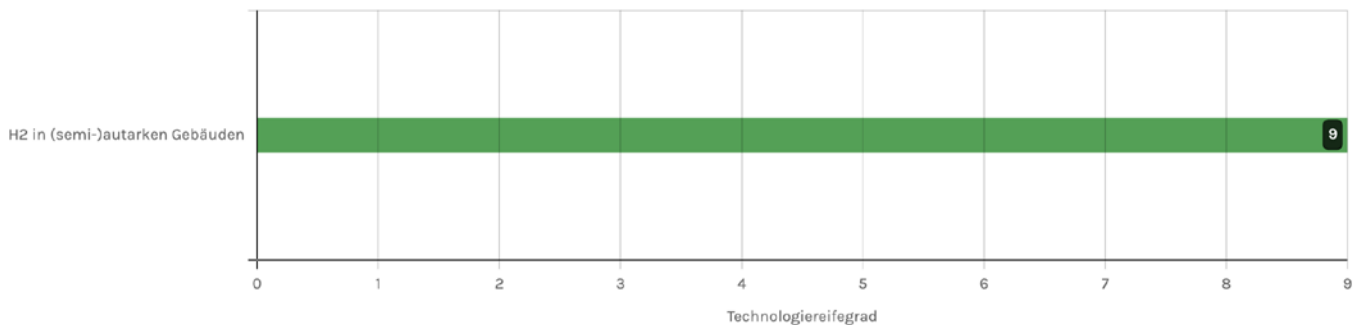
einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



Technologiereifegrad

Die Nutzung von Elektrolyseurabwärme wird bereits umgesetzt. ^{[27][28]}

Technologiereifegrad
Technology Readiness Level (TRL)



H₂-Bedarfe

Für die Abwärmenutzung fällt kein zusätzlicher H₂-Bedarf an.

AUSWAHL RELEVANTER PROJEKTE

- > Bösbüll Fernwärme
<https://www.bosbuell-fernwaerme.de/>
- > Neue Weststadt Esslingen
<https://neue-weststadt.de/>

Minderungspotential

Die ersetzbaren Treibhausgasemissionen sind schwer abschätzbar, da verschiedene Brennstoffe in verschiedenen Systemen, insbesondere von Nah- und Fernwärme, zum Einsatz kommen.

MASSNAHMEN

MASSNAHME

> Nutzung von Abwärme von Elektrolyseuren anreizen

Fernwärmeversorger sind häufig zurückhaltend, unter anderem aufgrund der hohen Investitionsbedarfe. ^{[34][35]} Ein befristetes Förderprogramm, etwa mit niedrigen, variablen Fördersätzen (je nach Grad der Abwärmenutzung) oder einem Bonus für Großwärmepumpen oder für den Anschluss an Wärmenetze, könnte Wasserstoffherstellungsprojekte anreizen und den Weg für ein integriertes, effizienteres Energiesystem ebnen.



STIMMEN AUS DEM STAKEHOLDERDIALOG

- › Unter den Stakeholder*innen herrschte weitestgehend Konsens, dass Anreize (aber Verpflichtung) zur Nutzung der Abwärme aus Elektrolyseuren eine sinnvolle Maßnahme seien.

INITIATOR

- › Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

MASSNAHME

› Einheitliche Definition von Abwärme

Eine bundesweit einheitliche Definition von Abwärme, die Anlagen zur erneuerbaren Erzeugung von Wasserstoff einschließen sollte, könnte die Integration von Abwärmquellen in Wärmeprojekte fördern. ^[36]^[37]

INITIATOREN

- › Bundes- und Landesministerien,
vor allem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

MASSNAHME

› Erleichterung des Zugangs zu Daten über Abwärmepotenziale

Für die Integration von Abwärme, beispielsweise in die kommunale Wärmeplanung, sind relevante Daten über Abwärmquellen notwendig. ^[38] Diese sollten für die Wärmeplanung zugänglich gemacht werden. ^[39] Daten könnten von Anbietern direkt an potenzielle Abnehmer übermittelt werden.

INITIATOREN

- › Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- › Landesministerien
- › Politik beziehungsweise Verwaltung auf kommunaler Ebene, beispielsweise zuständig für Bau oder kommunale Wärmeplanung

Synthetisches Methan in der Gebäudewärme

Synthetisches Methan aus erneuerbarem Wasserstoff (H₂) und Kohlenstoff könnten in das Erdgasnetz eingespeist werden und fossiles Erdgas, das aus circa achtzig Prozent Methan besteht, ersetzen. Dadurch könnte es zur Bereitstellung von Nah- und Fernwärme, und individueller Gebäudewärme eingesetzt werden.

Voraussetzungen

- › Entsprechend der Novelle des Gebäudeenergiegesetzes müsste ein Transformationsplan für dieses Gasnetz vorgelegt werden.^[8]
- › Für die Produktion von synthetischem Methan müssen erneuerbarer Wasserstoff und Kohlenstoff aus nachhaltigen Quellen in ausreichend großen Mengen am Produktionsstandort verfügbar sein. Da synthetisches Methan global produziert und gehandelt werden kann, müssen diese H₂- und CO₂-Bedarfe nicht zwingend in Deutschland anfallen.
- › Für die Wasserstoffbedarfe muss entsprechend erneuerbarer Strom in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen.
- › Für klimaneutrales synthetisches Methan muss das Direct-Air-Capture-Verfahren skaliert oder Kohlenstoff aus biogenen Quellen oder CO₂-Abscheidung erschlossen werden.

Vorteile

- › Da der Energieträger durch ein chemisches Äquivalent ersetzt wird, ist keine technische Umstellung auf Verbrauchsseite nötig.
- › Die bestehenden Infrastrukturen und Speicher können ohne technische Anpassungen weiter genutzt werden. Es entstehen keine zusätzlichen Kosten im Vergleich zu Anlagen, die das Kriterium »H₂-ready« erfüllen müssen.
- › Es fallen keine Kosten für einen H₂-Netzneubau an.
- › Eine kostenintensive Umwidmung des Gasnetzes wird vermieden.

Nachteile

- › Bei der Erzeugung von synthetischem Methan handelt es sich um einen energieaufwendigen Prozess mit Effizienznachteilen gegenüber Direktelektrifizierung und höheren Kosten wegen zusätzlicher Prozessschritte.
- › Es besteht eine Lock-in-Gefahr.

Folgen

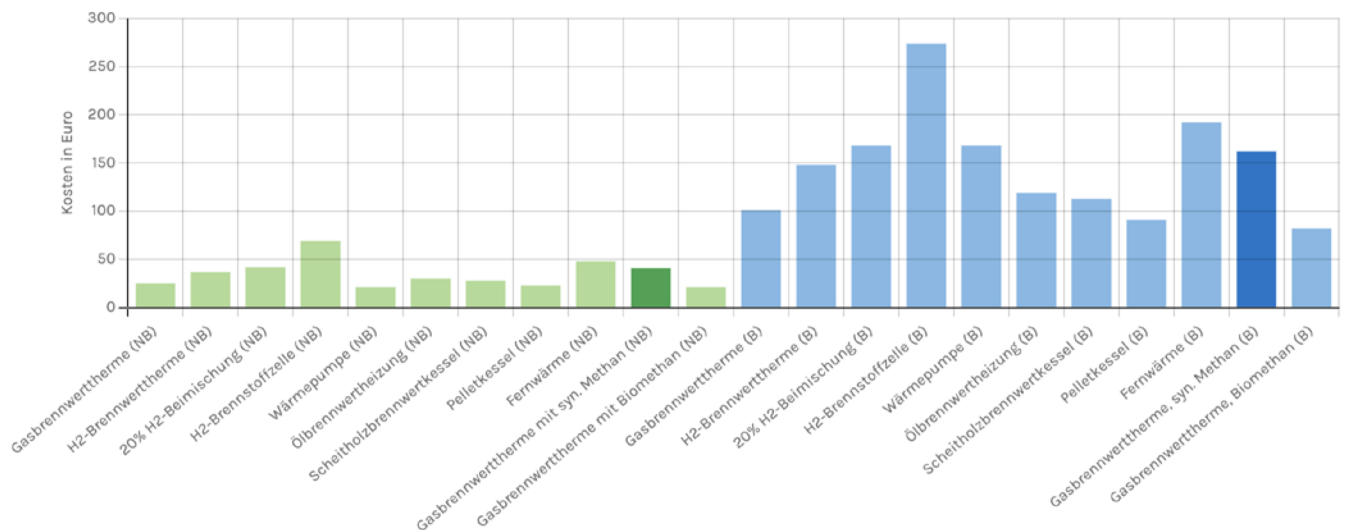
- › Die Weiternutzung von Methan kann mit Methanleckagen einhergehen.
- › Erschlossene industrielle Punktquellen könnten auch über 2045 hinaus beibehalten werden.

Ökonomische Aspekte

Eine Nutzung synthetischen Methans bedeutet, dass die Gasinfrastruktur und die Endgeräte ohne Umstellungen weiterverwendet werden können. Allerdings benötigt die Entnahme von CO₂ aus der Luft viel Energie und ist dementsprechend teuer. Dies in Verbindung mit dem niedrigeren Gesamtwirkungsgrad (von der Primärenergie zu H₂ beziehungsweise von CO₂ zu Methan zur Endenergie) bedeutet höhere Gesamtkosten. Die Nutzung vorhandener Infrastrukturen und Transportwege könnten diese Mehrkosten gegebenenfalls kompensieren.

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61] [62][63][64][65][66][67] [68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30] [66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



Versorgungssicherheit

Sollte synthetisches Methan in der Wärmeversorgung breit eingesetzt werden, würde die entsprechend hohen H₂-Bedarfe dazu führen, dass diese Mengen an erneuerbarem beziehungsweise CO₂-arm erzeugtem H₂ nur schwer bereitgestellt werden könnten und dann anderen und Branchen ohne Defossilisierungsalternativen zu Wasserstoff und seinen Derivaten nicht zur Verfügung stehen würden, beispielsweise der Stahl- oder der Chemieindustrie. Dies würde sich gesamtsystemisch negativ auf die H₂-Versorgungssicherheit auswirken, soweit synthetisches oder biogenes Methan nicht importiert wird.

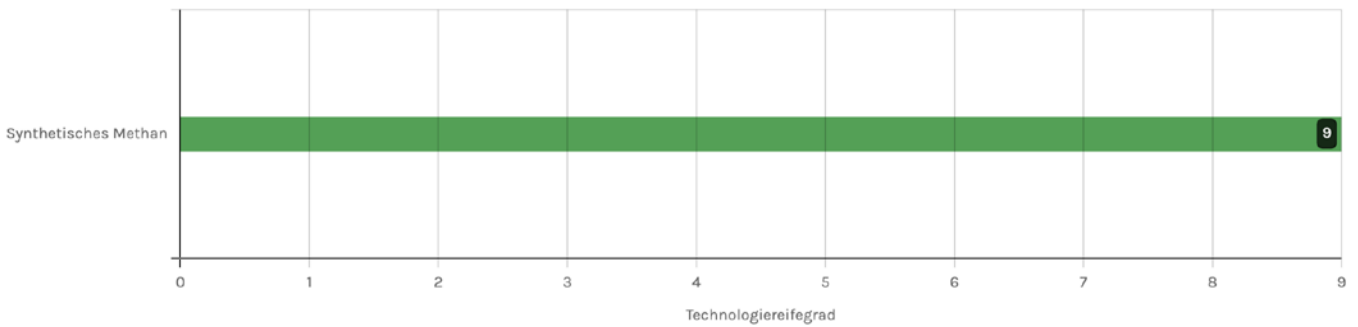
Akteur*innen

- > Produzenten von klimaneutralem H₂, CO₂ und synthetischem Methan
- > Transport- und Verteilnetzbetreiber

Technologiereifegrad

Hier ist keine Umstellung nötig, da das Methan im Erdgas durch synthetisches ersetzt wird.

Technologiereifegrad
Technology Readiness Level (TRL)

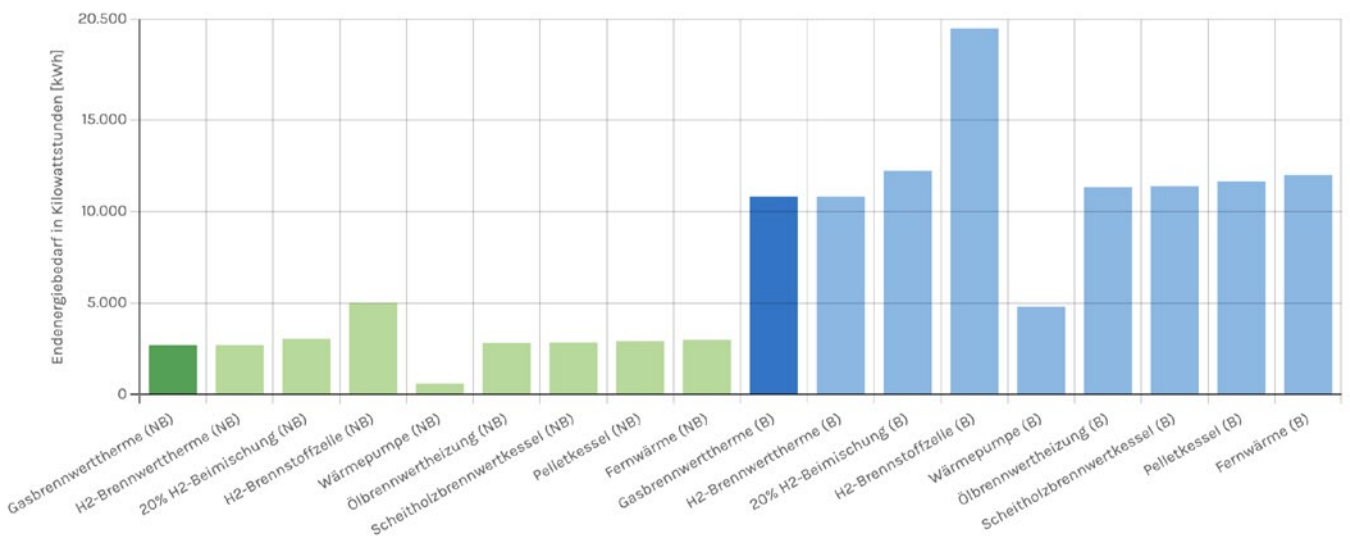


Endenergiebedarf

Im Jahr 2020 betrug der Erdgaseinsatz in der Gebäudewärme 362 Terawattstunden. Davon entfielen etwa 301 Terawattstunden auf die Bereitstellung von Raumwärme und 62 Terawattstunden auf Warmwasser.^[6] Auch die Nah- und Fernwärme nutzen in Teilen Erdgas. Insgesamt wurden 2020 etwa 61 Terawattstunden über Nah- und Fernwärme bereitgestellt. Davon entfielen etwa 55 Terawattstunden auf die Bereitstellung von Raumwärme.^[6] Zukünftig müssen diese Energiebedarfe erneuerbar bereitgestellt werden.

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



H₂-Bedarfe

Für ein Molekül synthetischen Methans (CH₄) werden vier Wasserstoffmoleküle (H₂) benötigt. Wollte man die gesamte für die Gebäudewärme eingesetzte Menge Erdgas in 2020 (362 Terawattstunden oder 26 Millionen Tonnen Methan) ersetzen, so werden etwa 437 Terawattstunden H₂ (13 Millionen Tonnen) benötigt.

Bedarfe an Wasserstoff fallen beim Import von synthetischem Methan außerhalb Deutschlands an.

AUSWAHL RELEVANTER PROJEKTE

- › Store & Go Falkenhagen
<https://www.storeandgo.info/demonstration-sites/>

Minderungspotential

Bei der Verbrennung von Erdgas fallen 201 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde an.^[20] Diese würden vermieden, wenn das CO₂ vorher der Atmosphäre entzogen wurde.

MASSNAHMEN

MASSNAHME

› Verpflichtende Beimischungsquoten

Der Einsatz von synthetischem Methan in der Gebäudewärme könnte durch eine Steigerung der Nachfrage, zum Beispiel anhand verpflichtender Beimischungsquoten, unterstützt werden.

STIMMEN AUS DEM STAKEHOLDERDIALOG



- › Stakeholder*innen waren sich weitestgehend einig, dass eine Beimischungsquote für Folgeprodukte von Wasserstoff wie dem synthetischen Methan eine Möglichkeit sei, um die Nachfrage nach Wasserstoff stark zu steigern. Sie äußerten sich jedoch nicht zur Wichtigkeit oder Dringlichkeit einer solchen Maßnahme.

INITIATOREN

- › Bundesregierung
- › Bundes- und Landesministerien im Bereich Wirtschaft oder Energie

MASSNAHME

› Förderung von PtX-Anlagen in Deutschland

Die Zahlungsbereitschaft für synthetisches Methan ist derzeit gering.^[38]

Die Senkung der Herstellungskosten von synthetischem Methan kann durch eine Förderung heimischer PtX-Anlagen erreicht werden, wobei diese Förderung nicht zwangsläufig zu wettbewerbsfähigen Preisen führen würde.

INITIATOREN

- › Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Einsatz synthetischen Heizöls

Derzeit werden etwa 23 Prozent der Gebäudewärme mittels Heizöls bereitgestellt. Fossiles Heizöl könnte durch synthetisches Heizöl aus Wasserstoff (H₂) und CO₂ ersetzt werden.

Voraussetzungen

- › Für die Produktion von synthetischem Heizöl müssen H₂ und Kohlenstoff in entsprechend großen Mengen aus erneuerbaren Quellen am Produktionsstandort verfügbar sein.
- › Für die Wasserstoffbedarfe muss entsprechend erneuerbarer Strom in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen.
- › Da synthetisches Heizöl global produziert und gehandelt werden kann, müssen diese H₂- und CO₂-Bedarfe nicht zwingend in Deutschland anfallen.

Vorteile

- › Aufgrund ähnlicher Eigenschaften zum fossilen Pendant sind keine oder nur geringfügige technische Anpassungen bei vorhandenen Ölheizungen nötig.
- › Die notwendige Infrastruktur ist bereits vorhanden.
- › Aufgrund seiner hohen Reinheit weist synthetisches Heizöl eine bessere Lagerbarkeit (Langzeitlagerstabilität) auf als das fossile Pendant.^[9]
- › Synthetisches Heizöl fällt als eine von vielen Fraktionen (unter anderem Gase, Naphtha, Diesel, Kerosin etc.) des Fischer-Tropsch-Verfahrens an, da der Prozess nicht komplett selektiv ist. Es würde also unmittelbar als Nebenprodukt der Grund- und Kraftstoffproduktion anfallen, was die Kosten senken kann.

Nachteile

- › Es handelt sich um einen energieaufwendigen und voraussichtlich kostenintensiven Prozess. Dabei fallen hohe Bedarfe an H₂ beziehungsweise erneuerbarem Strom an.
- › Da die Fischer-Tropsch-Synthese grundsätzlich nicht selektiv ist, fällt neben Heizöl ein Produktspektrum an Grund- und Kraftstoffen an. Legt man den Prozess auf die Erzeugung eines reinen Produktes aus (zum Beispiel selektive Synthese von Heizöl) fallen aufgrund höherer Aufwände beziehungsweise zusätzlicher Prozessschritte auch höhere Kosten an.
- › Nur wenn CO₂ zuvor der Atmosphäre entnommen wurde (zum Beispiel über DAC), kann der Prozess klimaneutral werden, auch wenn er energieintensiv bleibt.
- › Es besteht die Gefahr von Lock-in-Effekten bei der Beimischung synthetischen Heizöls zu fossilem Heizöl.

Folgen

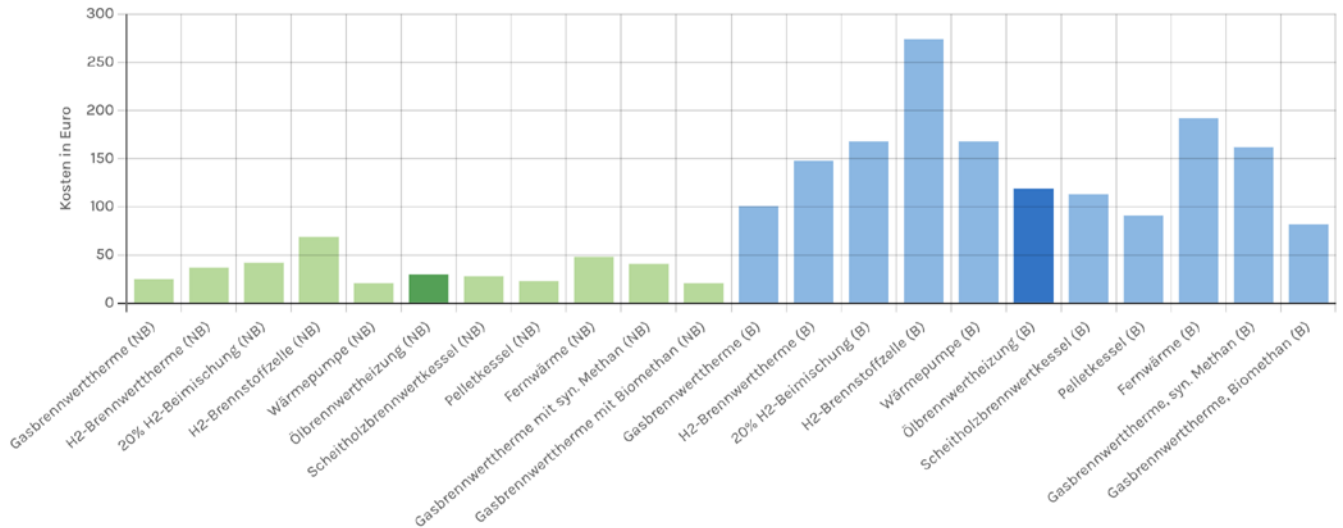
- › Auch abgelegene Gebäude (zum Beispiel im ländlichen Raum, wo kein Anschluss an Fernwärme möglich ist) können weiterhin versorgt werden.
- › Es besteht die Gefahr von Lock-in-Effekten bei der Beimischung synthetischen Heizöls zu fossilem Heizöl:
 - Es findet möglicherweise kein Umstieg auf andere, gegebenenfalls effizientere oder kohlenstofffreie Alternativen statt.
 - Es kommt eventuell zu einem Aufschub von energetischen Sanierungen.
 - Eine initiale Beimischung von synthetischem zu fossilem Heizöl im Übergang könnte zu »business as usual« führen (laut bisheriger Norm sind aufgrund der niedrigeren Dichte bislang nur Beimischungen von maximal 25 Prozent zugelassen, mit DIN 51603-8 für paraffinische Brennstoffe wären bis zu 100 Prozent möglich), da sich Käufer*innen je nach Preis auch für fossiles Heizöl entscheiden könnten.
 - Die Erschließung industrieller Punktquellen für CO₂ und eventuell die Beibehaltung dieser über 2045 hinaus ist im EU-Ausland möglich, insbesondere wegen voraussichtlich hoher Kosten von DAC und bisher unklarer Skalierung.

Ökonomische Aspekte

Aufgrund der verhältnismäßig geringen Effizienzen und der hohen Kosten der PtX-Prozesse ist der Einsatz von synthetischem Heizöl eventuell nur für die Notversorgung kritischer Infrastruktur und für die Versorgung abgelegener Gebäude sinnvoll. Für einen breiteren Einsatz müssten die Endkundenpreise sinken.

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61] [62][63][64][65][66][67] [68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30] [66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



Versorgungssicherheit

Da eher mit Importen von synthetischem Heizöl zu rechnen ist, würden die H₂-Bedarfe außerhalb Deutschlands anfallen und damit die Versorgung mit Wasserstoff nur geringfügig beeinflussen.

Aufgrund der guten Lagerbarkeit von (synthetischem) Heizöl könnte dieses auch für die Notversorgung kritischer Infrastruktur eingesetzt werden und dadurch die grundsätzliche Versorgungssicherheit erhöhen.

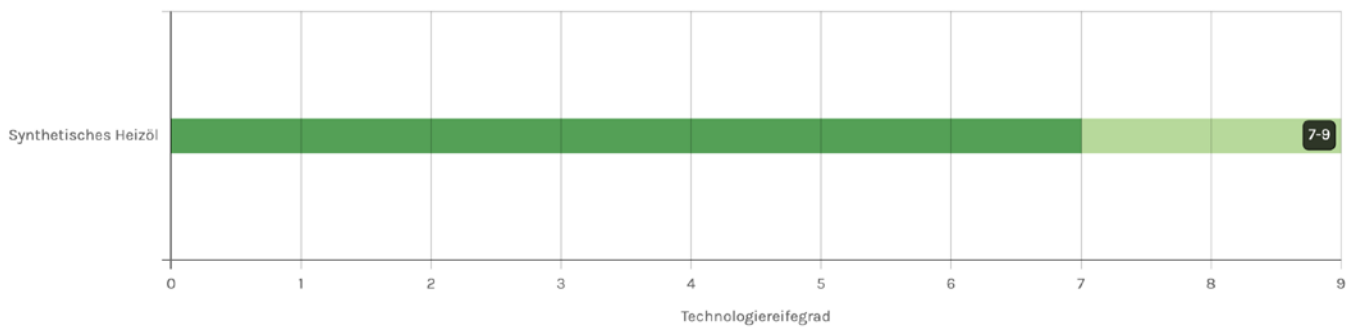
Akteur*innen

- > Hauseigentümer*innen
- > Kommunen
- > Betreiber (kommunaler) Infrastruktur und Notversorgung

Technologiereifegrad

Der Ersatz sollte wenig Umstellung erfordern, da sich nur die Produktion unterscheidet, der Stoff aber sehr ähnlich zum fossilen Pendant ist. Forschungs- und Entwicklungsbedarfe bezüglich der Optimierung der Herstellung sind noch vorhanden.

Technologiereifegrad
Technology Readiness Level (TRL)

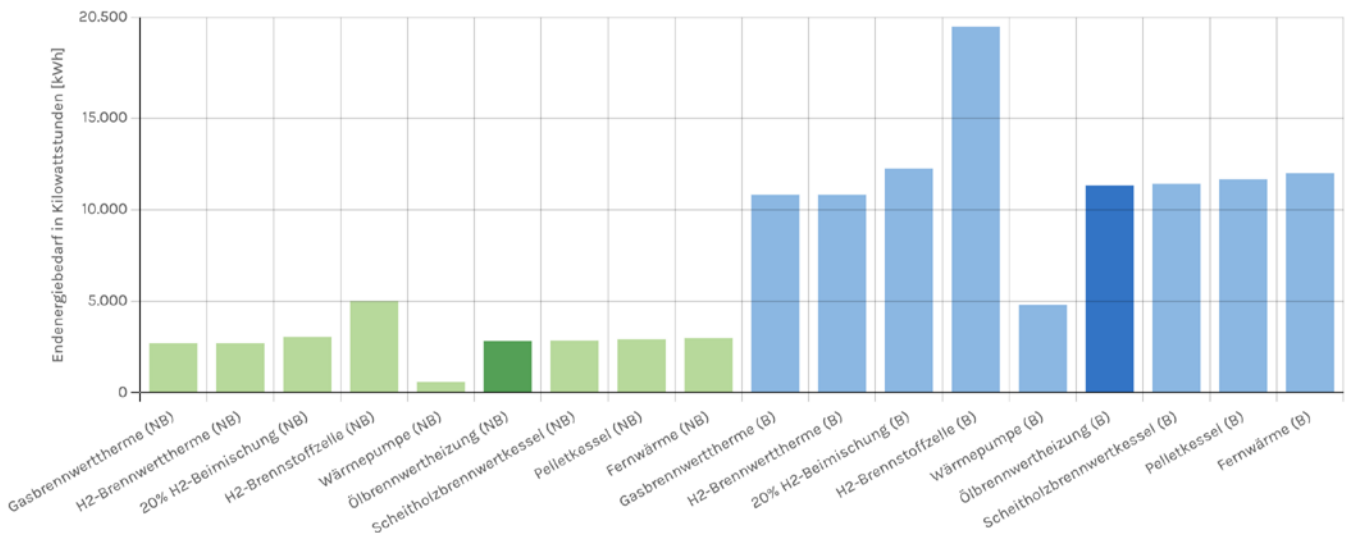


Endenergiebedarf

Im Jahr 2020 wurden 175 Terawattstunden fossilen Heizöls in der Gebäudewärme eingesetzt, davon 150 Terawattstunden in der Raumwärme und 25 Terawattstunden für Warmwasser.^[6] Dieses wird durch erneuerbare Alternativen ersetzt werden müssen.

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



H₂-Bedarfe

Für die Synthese von 175 Terawattstunden leichten Heizöls (jährlich 16 Millionen Tonnen) würden etwa 234 Terawattstunden H₂ (7 Millionen Tonnen) benötigt (Annahme: Alkane mit 45 C-Atomen).

Entsprechende Bedarfe an Wasserstoff fallen bei direktem Import von synthetischem Heizöl außerhalb Deutschlands an.

AUSWAHL RELEVANTER PROJEKTE

- > DGMK-Projekt Brennstoffe: Untersuchung von Beimischungen:
<https://dgmk.de/projekte/wechselwirkungen-paraffinischer-brennstoffe-mit-mineraloelstaemmigen-restmengen-im-tank/>

Minderungspotential

Bei der Verbrennung leichten Heizöls fallen 266 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde an.^[20] Diese würden vermieden, wenn das CO₂ vorher der Atmosphäre entzogen wurde.

MASSNAHMEN

MASSNAHME

> Vernetzung und Zusammenarbeit mit Drittstaaten

Um größere Mengen synthetischen Heizöls importieren zu können, wäre die Vernetzung und Zusammenarbeit mit Drittstaaten wichtig.

MASSNAHME

> Ausgestaltung eines Importkriterienkatalogs

Wenn größere Mengen synthetischen Heizöls importiert werden, wäre die Gestaltung eines Katalogs an (Nachhaltigkeits-)Kriterien für Importe von wesentlicher Bedeutung. Denn je nach Kriterien besteht auf der einen Seite die Gefahr einer Festigung nicht nachhaltiger H₂-Erzeugungspfade und auf der anderen Seite einer Verhinderung des H₂-Hochlaufs durch zu strenge Kriterien.

Direkte und indirekte Nutzung von Wasserstoff im Quartier

Auf Quartiersebene bestehen mehrere Möglichkeiten, Wasserstoff (H₂) direkt beziehungsweise indirekt zur Bereitstellung von Wärme und Strom einzusetzen: Dazu zählen etwa alleinstehende H₂-Inselnetze, H₂-basierte Wärmenetze oder integrierte Gebäudesysteme, die Technologien wie erneuerbare Energien, Elektrolyseure, Wärmepumpen und Brennstoffzellen kombinieren. Auch Energiespeicher, etwa in Form von Wasserstoff, müssen hierbei bedacht werden.

Voraussetzungen

- > Anlagen zur Erzeugung und Speicherung von erneuerbarem Strom und H₂ müssen im Quartier beziehungsweise quartiersnah geplant, errichtet und betrieben werden. Dabei sollten auch Sicherheitsaspekte in diesem nicht industriellen Umfeld betrachtet werden.
- > Auch eine integrierte Planung von Strom und Wärmebereitstellung auf Quartiersebene, etwa mittels H₂, ist nötig. Dafür sind Anpassungen von Regulierungen notwendig, beispielsweise in durch Straßen geteilte Gebieten.

Vorteile

- > Durch kleinere, teilweise entkoppelte beziehungsweise stromerzeugende Systeme kann der Bedarf an Strom und Wärme aus den Netzen im Quartier niedriger ausfallen. Dadurch kann das Stromnetz entlastet werden.
- > Durch die jüngsten Verwerfungen in der Energieversorgung gibt es ein gesteigertes Interesse am Autarkiekonzept. Eine Effizienzerhöhung ist möglich, wenn auch die Abwärme des Systems genutzt wird.

- › Die Weiternutzung vorhandener Infrastruktur (Gas-/Wärmenetze) kann für Netzbetreiber ökonomisch attraktiv sein.
- › In kleineren Netzen können Erfahrungen gesammelt werden, etwa bei der Umrüstung und mit dem Umgang von Wasserstoff. Dies könnte dann auf andere Fälle übertragen werden.

Folgen

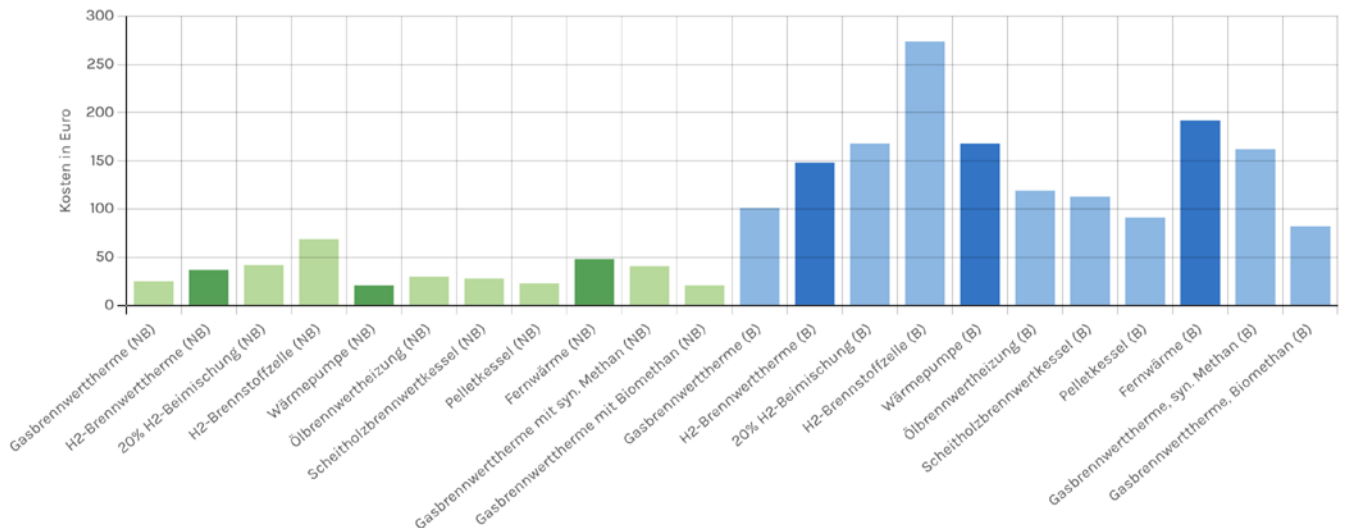
- › Für einen Elektrolyseur im Quartier müssten eventuell auch zusätzliche Wasserstoffabnehmer gefunden werden, um einen wirtschaftlichen Betrieb zu sichern. Dies kann auch Logistik im Quartier erforderlich machen.
- › Quartiersprojekte können sich positiv auf die gesellschaftliche Akzeptanz einer Wasserstoffwirtschaft auswirken.
- › Bei einer Entkoppelung von den Netzen entfallen auch Kund*innen für die Energieversorger. Dies könnte den Betrieb für die verbleibenden Kund*innen verteuern.
- › Eine Entscheidung für ein Nahwärmenetz ist auf Jahrzehnte richtungsweisend und kann schlecht rückgängig gemacht werden.

Ökonomische Aspekte

Ein Ausbau der Nahwärme, Neubau von Erzeugungsanlagen von erneuerbarem Strom/H₂ und Wärme, eine Umstellung der Erdgasleitungen auf H₂ oder die Aufstellung von Energiespeichern im Quartier erfordert auch investitionsintensive Infrastrukturmaßnahmen. Dies kann dennoch wirtschaftlich sein, wenn sich entsprechende Abnehmer in der Nähe befinden, die auch höhere Preise tolerieren würden.

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61][62][63][64][65][66][67][68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30][66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



Versorgungssicherheit

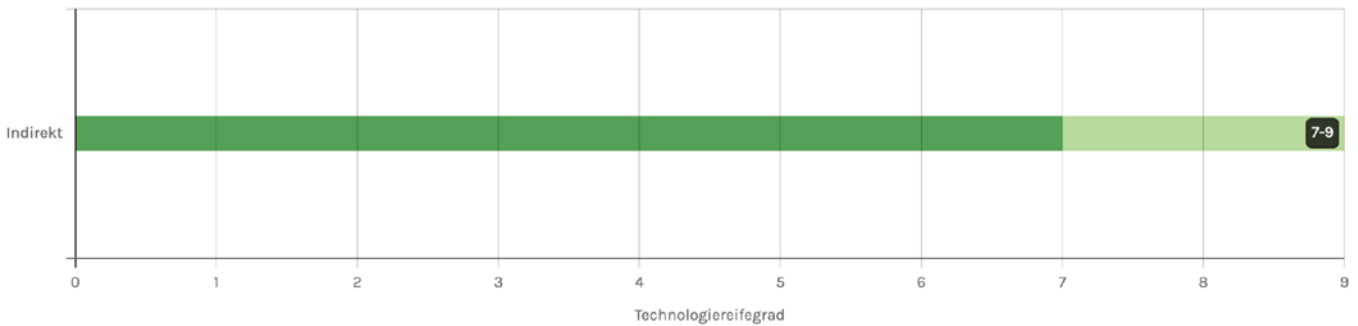
Nutzung von (teilweise) eigenproduziertem H₂ in Quartieren hat weniger Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit anderer Branchen und Sektoren als die Nutzung von außerhalb eingekauften Wasserstoffs. Dadurch treten Quartierslösungen nicht in Konkurrenz mit anderen Wasserstoffanwendungen. Durch die Abwärmenutzung erhöht sich die Energieausbeute eines Elektrolyseurs. Entsprechend verringert sich der Primärenergieverbrauch in einer Gesamtenergiesystembetrachtung, was sich wiederum positiv auf die Versorgungssicherheit des Gesamtsystems auswirkt.

Akteur*innen

- > Energielieferanten und -dienstleister
- > Gastransport- und -Verteilnetzbetreiber
- > Wärmenetzbetreiber
- > Hauseigentümer*innen(gemeinschaften)

Technologiereifegrad

Technologiereifegrad
Technology Readiness Level (TRL)

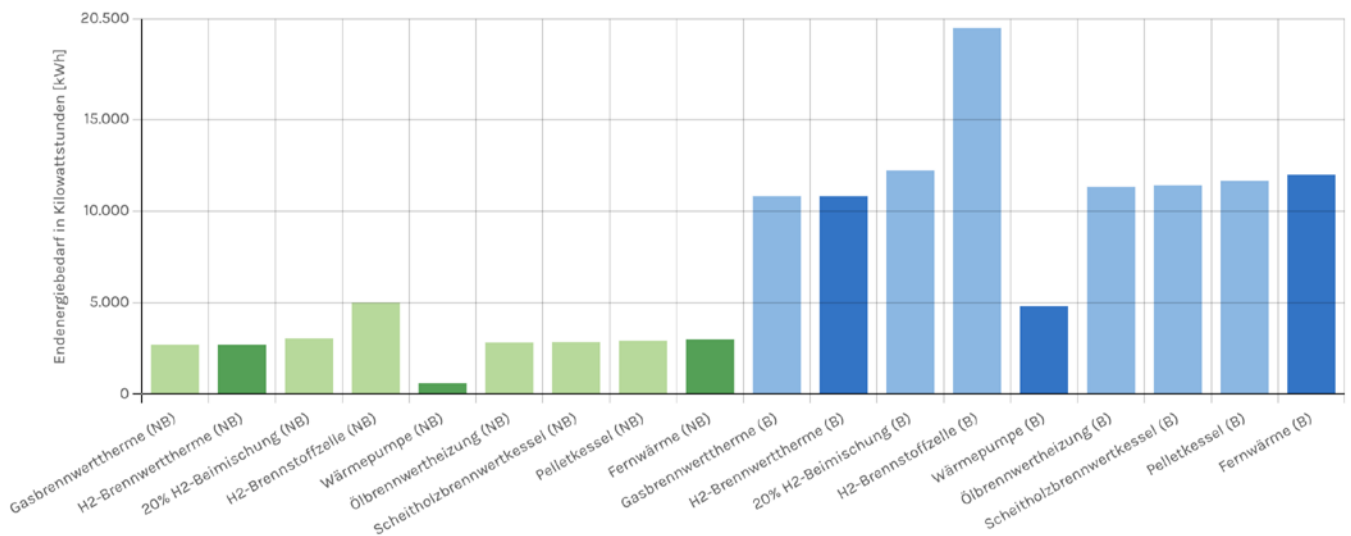


Endenergiebedarf

Ein Endenergiebedarf kann nicht angegeben werden, da hier entsprechend den lokalen Gegebenheiten verschiedene Technologien gebündelt werden beziehungsweise diverse Heizsysteme ersetzt würden.

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



Treibhausgasemissionen

Die ersetzbaren Treibhausgasemissionen sind auf übergeordneter Ebene nicht abschätzbar, da hier entsprechend den lokalen Gegebenheiten verschiedene Brennstoffe in verschiedenen Systemen ersetzt werden können.

AUSWAHL RELEVANTER PROJEKTE

- › SmartQuart Kaisersesch
<https://www.kaisersesch.de/aktuelles/presse-und-oeffentlichkeitsarbeit/pressemitteilungen/2022/oktober/spatenstich-smartquart-wasserstoff-fuer-die-energieversorgung-in-kaisersesch/>

MASSNAHME**MASSNAHME****> Anpassung des Planungs- und Genehmigungsrechts**

Für einen erfolgreichen Hochlauf ist eine Anpassung des Planungs- und Genehmigungsrechts für Anlagen zur Nutzung von Wasserstoff von hoher Bedeutung. Diese Änderungen sollten auf die Vereinfachung^[39], Beschleunigung^[40] und Erreichung qualitativ verbesserter Ergebnisse^[41] von Planungs- und Genehmigungsverfahren abzielen. Hierbei lassen sich Zielkonflikte nicht immer vermeiden (siehe auch weitere Maßnahmen zum regulatorischen Rahmen sowie Maßnahmen zur öffentlichen Wahrnehmung und zum Erwartungsmanagement).

INITIATOREN

- > Bundesregierung
- > Landesregierungen
- > Politik auf kommunaler Ebene, vor allem in den Bereichen Wohnen, Wirtschaft, Energie und Klimaschutz

Handlungsoptionen Andere Technologien

Biomassenutzung

Am häufigsten wird feste, holzbasierte Biomasse in Gebäuden eingesetzt. Dies geschieht in Form von Scheitholz-, Hackschnitzel- oder Pelletheizungen. Viele Haushalte nutzen zusätzlich einen Kaminofen.^[42]

Aus Pflanzenölen wird auch Biodiesel gewonnen und Heizölen beigemischt. Auch Biogas Biomethan kann eingesetzt oder anteilig beigemischt werden. Zusätzlich können feste, gasförmige und flüssige biogene Brennstoffe, wie biologische Reststoffe, in Blockheizkraftwerken verbrannt und damit in Wärmenetzen verwendet werden.

Voraussetzungen

- › Es muss ausreichend Biomasse verfügbar sein.
- › Es ist Logistikinfrastruktur für Transport und Lagerung nötig.

Vorteile

- › Es ist eine Reduktion der Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen möglich.
- › Nach dem russischen Angriff auf die Ukraine (2022) möchten viele Verbraucher*innen ihre Wärmeversorgung absichern, etwa durch eine zusätzliche Feuerstelle.
- › Mit biomassebasierten Brennstoffen können sämtliche Temperaturniveaus bedient werden.

Nachteile

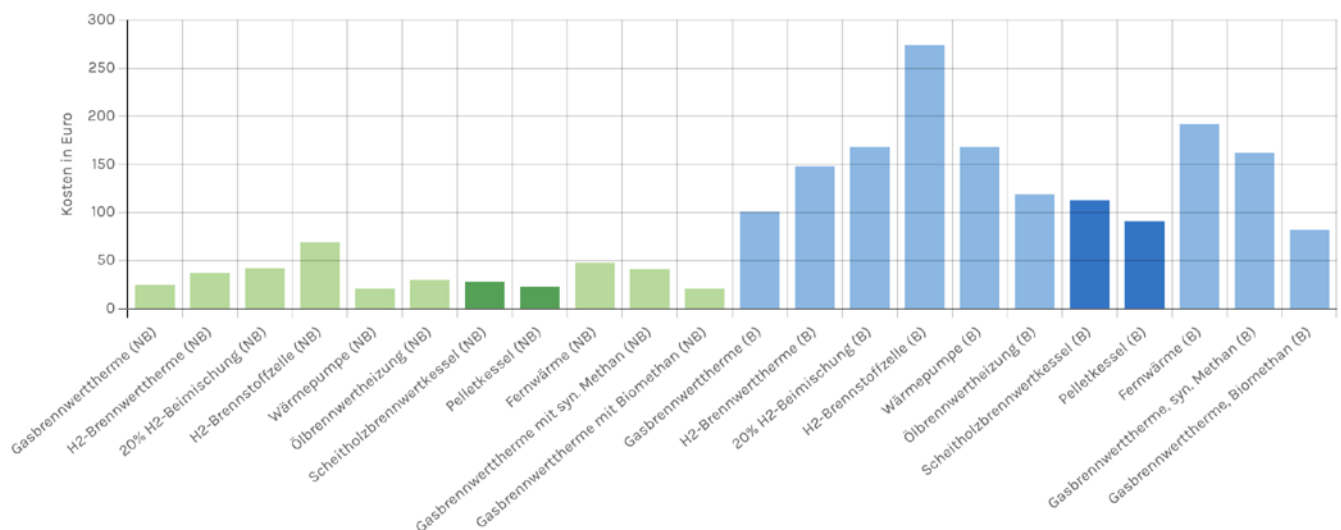
- › Es ist eine Flächenkonkurrenz zwischen Energie- und Nutzpflanzen gegeben.
- › Bereitstellung von Niedertemperaturwärme (weniger als einhundert Grad Celsius), wie etwa in Gebäuden, nicht der sinnvollste Einsatz von Holzbiomasse, da hiermit auch deutlich höhere Temperaturen erreicht werden können.^[44]
- › Es entsteht Feinstaub bei der Verbrennung von Holzbiomasse.
- › Bei Beimischungen von mehr als zehn Prozent biogenen Heizölen müssen eventuell Tank, Kessel und Leitungen angepasst werden.^[59]

Ökonomische Aspekte

Durch Nutzungskonkurrenz könnte der Preis für Biomasse steigen. Die Preise für Holzbiomasse liegen in ähnlichen Bereichen wie die von fossilen Energieträgern und seit dem russischen Angriffskrieg auf die Ukraine auch unterhalb der Preise jener.^{[45][46]}

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61][62][63][64][65][66][67][68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30][66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



Versorgungssicherheit

Die Wärmebereitstellung der Industrie erfolgt aktuell noch primär auf Basis fossiler Energieträger, insbesondere Erdgas. Durch die energetische Nutzung von Biomasse könnte die Abhängigkeit von Erdgas für die Prozesswärme reduziert werden.

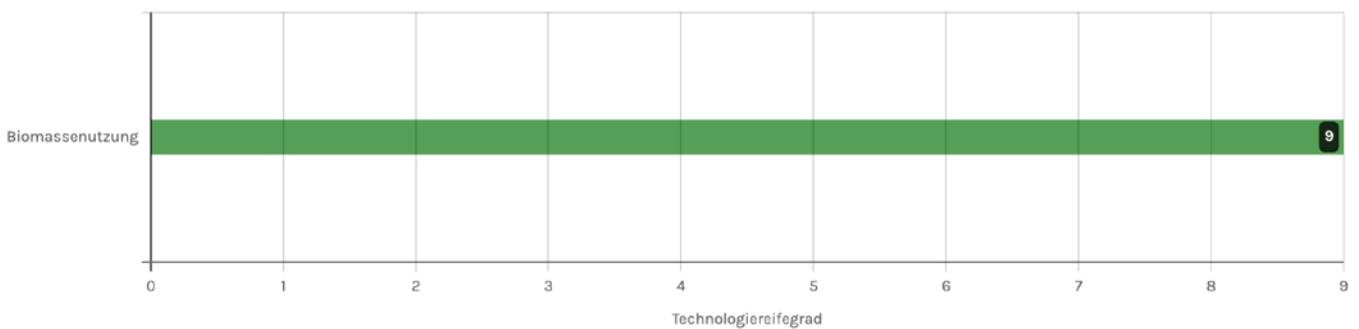
Akteur*innen

- > Hauseigentümer*innen
- > Wärmenetzbetreiber

Technologiereifegrad

Hackschnitzel-, Scheit- und Pelletheizungen sind auf dem Markt vorhanden. Bioheizöle haben meist nur einen biogenen Anteil von etwa zehn Prozent und können käuflich erworben werden.

Technologiereifegrad
Technology Readiness Level (TRL)

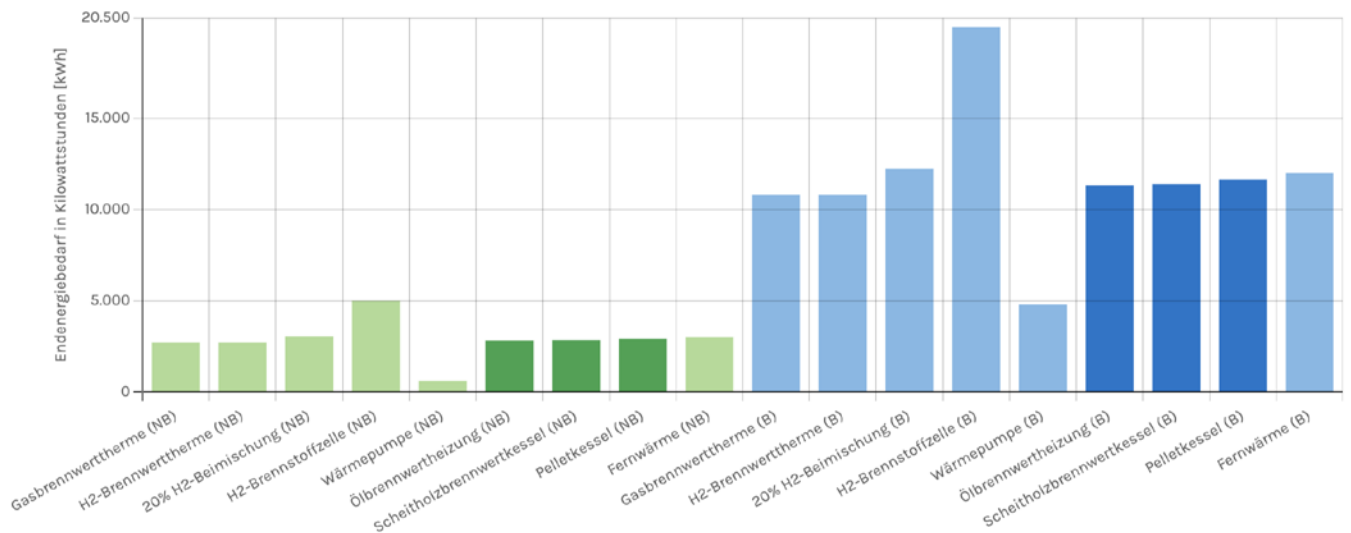


Endenergiebedarf

Im Jahr 2022 wurden insgesamt 168 Terawattstunden Wärme aus Biomasse für Gebäude- und Prozesswärme bereitgestellt. ^[60]

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



Minderungspotential

Die Treibhausgasemissionen von Biomasse werden bei der Berechnung dieser häufig mit null bilanziert, da dieses CO₂ vorab der Atmosphäre entzogen wurde.^[43] Dies entspricht allerdings seit 2014 nicht mehr den Berechnungen des Weltklimarates, welche über eine reine Betrachtung der Verbrennung oder Vergasung hinausgehen.^[47]

Für die energetische Nutzung von Biomasse werden im Schnitt 348 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde angegeben.^{[47][48][49]} Neben CO₂ ist auch die Entstehung der Klimagase Methan und Lachgas ausschlaggebend.

Deutsche Quellen liefern deutlich niedrigere Werte für holzbasierte Biomasse mit 25 bis 90 Gramm CO₂-Äquivalente pro Kilowattstunde.^{[50][51]}

Biomethan in der Gebäudewärme

Biomethan, das durch Aufreinigung von Biogas entsteht, könnte Erdgas ersetzen. Durch eine Beimischung in das Erdgasnetz könnte dies die Nutzung fossilen Erdgases reduzieren. Damit könnten die Bereitstellung individueller Gebäudewärme, die Nah- und Fernwärme und die Prozesswärme teilweise defossilisiert werden.

Voraussetzungen

- › Biogas muss aufgereinigt werden zu Biomethan.
- › Um einen relevanten Beitrag zur Wärmebereitstellung in Deutschland leisten zu können, müsste Biogas in großen Mengen verfügbar sein.
- › Aufreinigung, Transport und Einspeisung ins Netz müssen wirtschaftlicher sein als die reine Biogasverstromung.

Vorteile

- › Es ist keine Umstellung der Brennwertthermen bei Endverbraucher*innen nötig.
- › Die Infrastruktur für Erdgas ist vorhanden und kann weitergenutzt werden. Es fallen daher keine Kosten für H₂-Netzneubau oder für die Umwidmung des Erdgasnetzes auf Wasserstoff an.
- › Es kann eine Kreislaufwirtschaft entstehen, wenn ausschließlich Reststoffe als Ausgangsstoffe verwendet werden.
- › Durch eine CO₂-Abscheidung könnten negative Emissionen anfallen.

Nachteile

- › Es fallen Kosten für die Aufreinigung von Biogas an.
- › Die Aufreinigung zu Biomethan steht in Konkurrenz zur günstigeren Verstromung.
- › Auf begrenzten Flächen muss zwischen Energie- und anderen Nutzpflanzen (Tank-oder-Teller-Debatte: <https://www.die-debatte.org/ernaehrungssicherung-biokraftstoffe/>) entschieden werden.

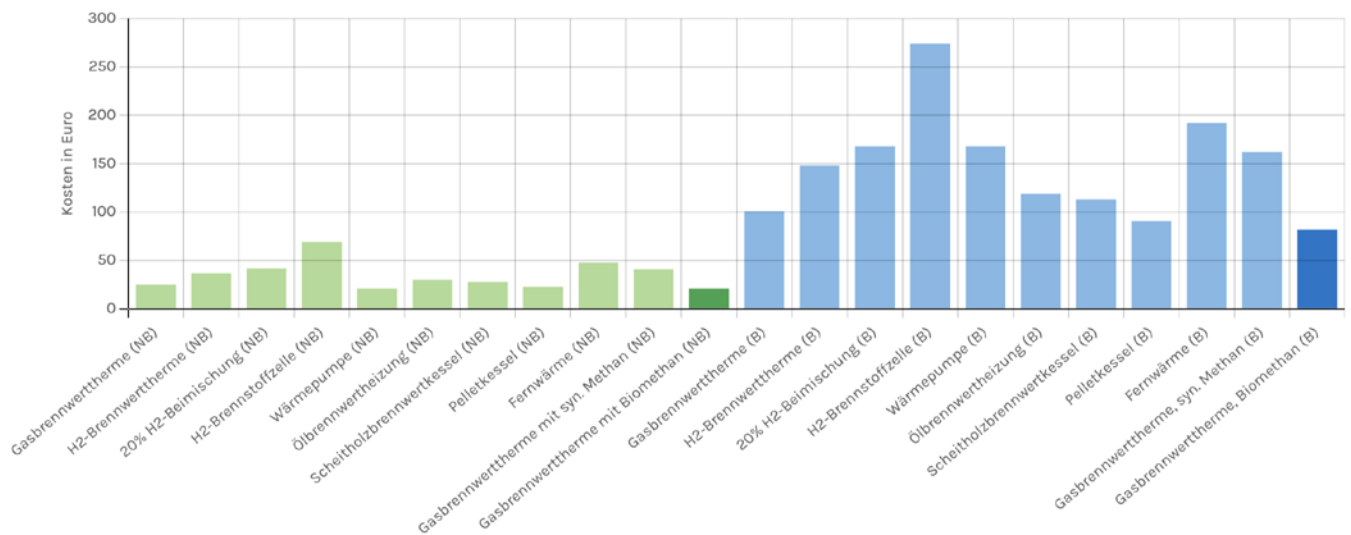
Folgen

- › Durch den Ersatz von Erdgas reduziert sich bei der Nutzung heimischen Biomethans die Energieimportabhängigkeit.

Ökonomische Aspekte

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61] [62][63][64][65][66][67] [68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30] [66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



Versorgungssicherheit

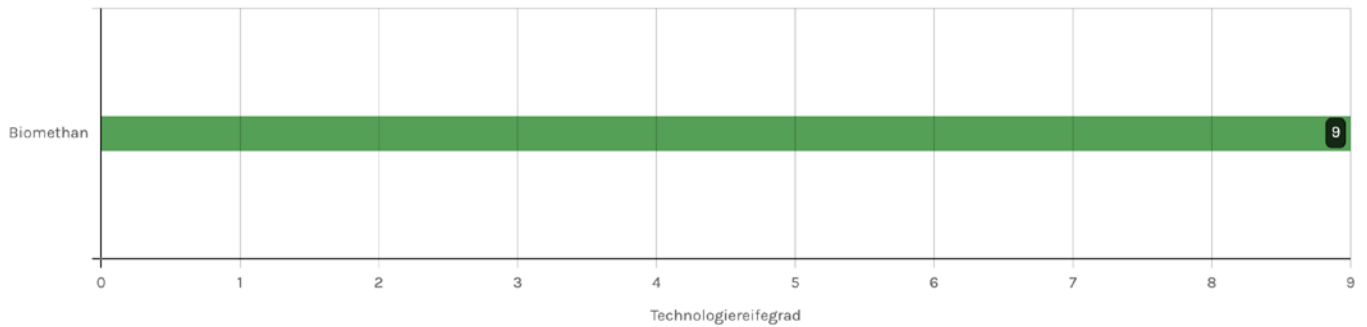
Die Biomethannutzung kann die Abhängigkeit von Erdgasimporten verringern. Besonders bei der Versorgung abgelegener kleinerer Ortschaften in landwirtschaftlich geprägten, strukturschwachen Regionen könnte Biomethan einen wichtigen Beitrag leisten.

Akteur*innen

- › Transport- und Verteilnetzbetreiber
- › Biogasanlagenbesitzer*innen
- › Landwirt*innen und landwirtschaftliche Genossenschaften

Technologiereifegrad

Technology Readiness Level
Technologiereifegrad

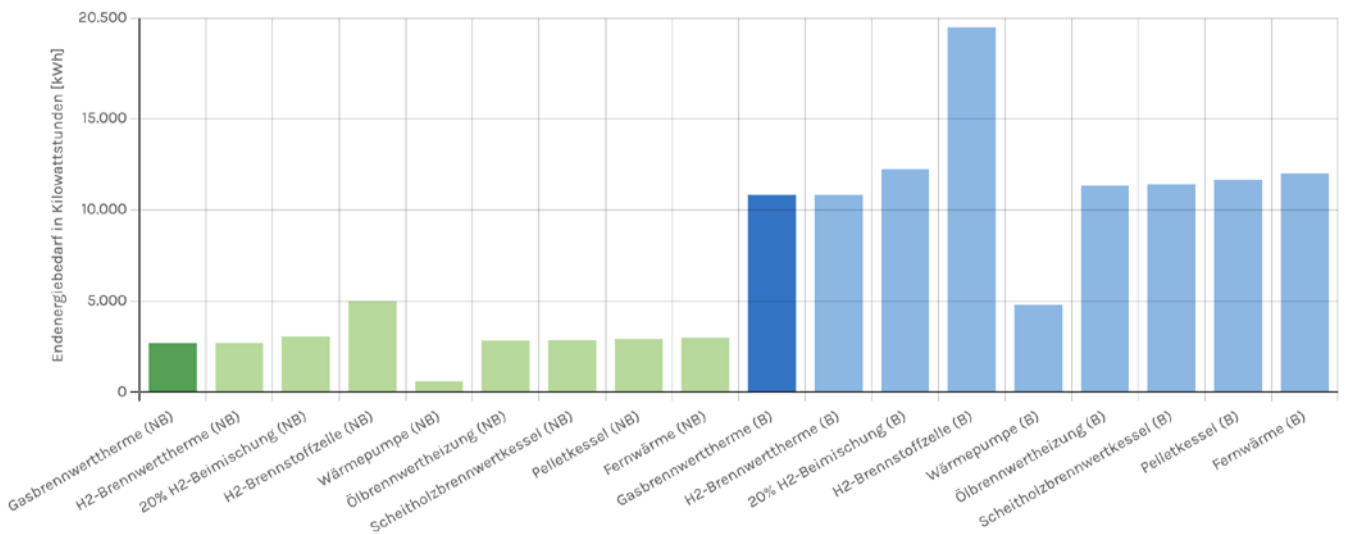


Endenergiebedarf

Im Jahr 2020 betrug der Erdgaseinsatz in der Gebäudewärme 362 Terawattstunden, davon entfielen 301 Terawattstunden auf die Raumwärme und etwa 62 Terawattstunden auf die Bereitstellung von Warmwasser^[6]. Aktuell werden davon etwa ein Prozent durch Biomethan gedeckt. Dieser Anteil könnte in Zukunft steigen, mittelfristig werden aber nur bis zu drei Prozent erwartet.^[58]

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



Elektrifizierung mit Wärmepumpen

Wärme kann auch elektrisch, beispielsweise mittels einer (Groß-)Wärmepumpe, bereitgestellt werden. Wärmepumpen für Gebäude nutzen in der Regel Niedertemperaturwärme aus der Umgebung, etwa aus dem Erdboden oder der Luft, und stellen mithilfe elektrischer Energie damit höhertemperierte Nutzwärme zur Verfügung. Dies zeichnet sich durch hohe Effizienz in der Form von Jahresarbeitszahlen größer 3 aus. Allerdings ist elektrische Wärmebereitstellung nur klimaneutral, wenn auch erneuerbarer Strom verwendet wird.

Voraussetzungen

- › Erneuerbare Energien müssen ausgebaut werden.
- › Auch der Stromnetzausbau sollte vorangetrieben werden.
- › In Bauordnungen festgelegte Abstandsbestimmungen ^[57] sollten überprüft und eventuell angepasst werden.

Vorteile

- › Wärmepumpen sind eine effiziente Möglichkeit, um Wärme bereitzustellen.
- › Damit können die Verpflichtungen nach dem Gebäudeenergiegesetz ^[12] für Neubauten zu erfüllt werden. ^[53]

Nachteile

- › Wärmepumpen könnten eine Lärmbelastung darstellen. Dieser Aspekt ist nicht in allen Gebieten gleich relevant (Innenstadt oder ländliche Region).
- › In Bestandsgebäude sind Wärmepumpen meist nur mit weiteren energetischen Sanierungen effizient (hoher Wärmebedarf, hohe Vorlauftemperaturen).

Folgen

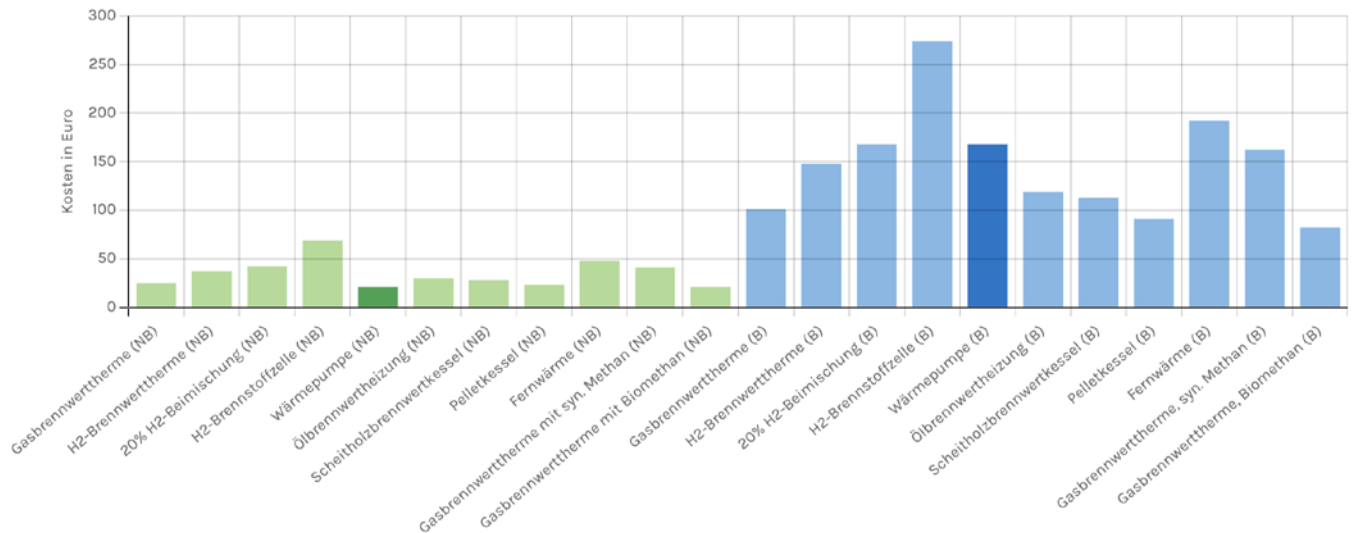
› Es fällt zeitgleich ein hoher Strombedarf bei niedrigen Temperaturen an, wenn viele Wärmepumpen an das Verteilnetz angeschlossen sind. Dies kann für manche Netze eine Belastung darstellen.

Ökonomische Aspekte

Derzeit sind Wärmepumpen mit Kosten von etwa 20.000 bis 30.000 Euro^{[55][56]} noch teurer als Gasthermen (diese kosten etwa 5.000 bis 10.000 Euro)^[54] und Hybridgasthermen (etwa 10.000 bis 20.000 Euro).^[54]

Abschätzung der Heizkosten

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien, basierend auf Preisen vom 1. August 2023.^{[30][61][62][63][64][65][66][67][68][69]} Für Wasserstoff und synthetisches Methan wurde eine Preiserwartung für das Jahr 2030^{[30][66]} und für Strom und Gas wurde der durchschnittliche Haushaltsstrompreis im 2. Quartal 2023 hinterlegt.^[61] Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt. Leider konnte keine konkrete Preisabschätzung für synthetisches Heizöl hinterlegt werden. Die hier gezeigten Kosten für fossiles Heizöl dürften unterhalb der Kosten für synthetisches Heizöl liegen.



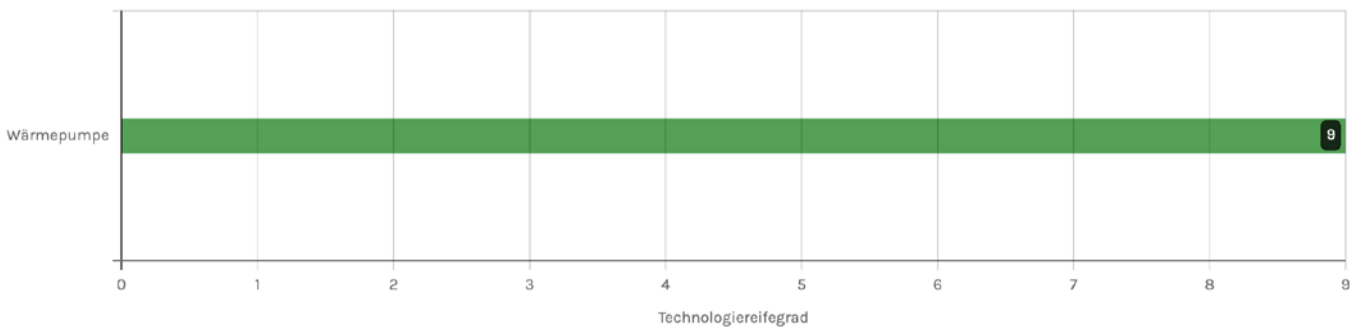
Akteur*innen

- › Hauseigentümer*innen
- › Wärmenetzbetreiber

Technologiereifegrad

Wärmepumpen können käuflich erworben werden.

Technologiereifegrad
Technology Readiness Level (TRL)



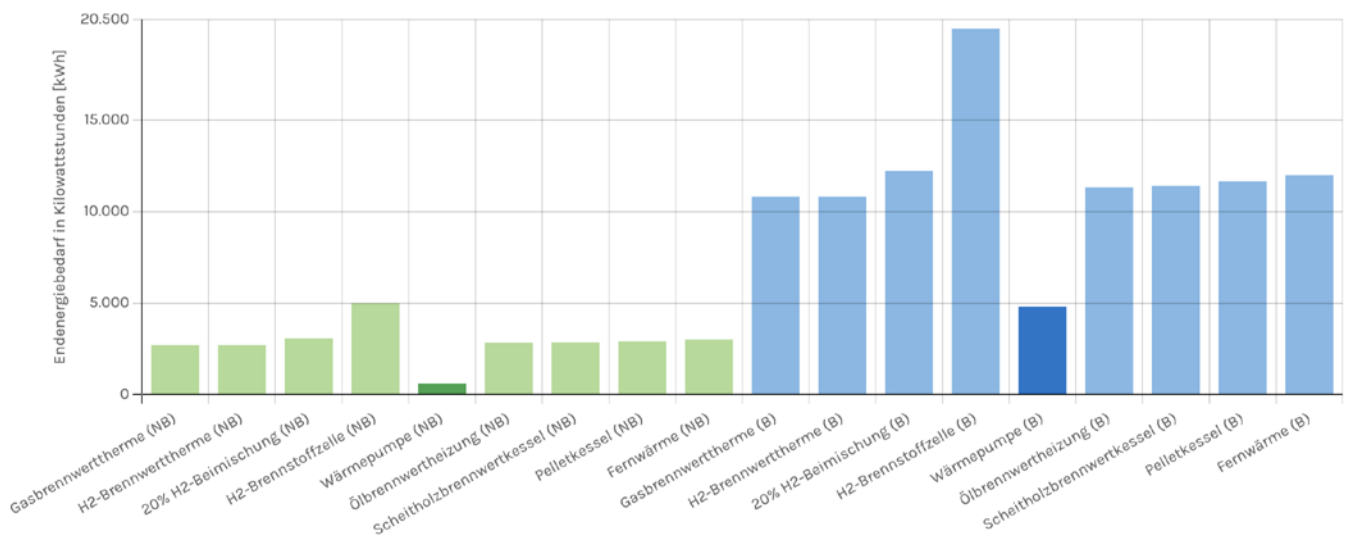
Minderungspotential

Eine Wärmepumpe, die an die eigene Solarstromerzeugung gekoppelt ist, ersetzt Emissionen des vorher genutzten Brennstoffes vollständig. Bei Strombezug aus dem Netz müssen auch derzeit noch anfallende Treibhausgasemissionen berücksichtigt werden. Das waren im Jahr 2021 beispielsweise 420 Gramm CO₂ pro Kilowattstunde.^[52]

Endenergiebedarf

Abschätzung der Endenergiebedarfe

einer Wohnfläche von 120 Quadratmetern im Neubau (NB) beziehungsweise im sanierten Bestand (B) im Vergleich mit anderen Technologien. Hybridheizungen, die zu einer höheren Effizienz führen könnten, wurden in dieser Abschätzung nicht berücksichtigt.



Energetische Sanierungen

Energetische Sanierungen sollten alle Handlungsoptionen und Maßnahmen im Bereich der Gebäudewärme begleiten. Hierunter fallen beispielsweise Dämmung, Erneuerung der Fenster oder der Tausch des Heizungssystems.

Voraussetzungen

- › Ressourcen (Material und Handwerker*innen) und Kapital für Sanierungen sollten vorhanden sein.

Vorteile

- › Es treten weniger Wärmeverluste auf. Dies führt zu einem sinkenden Energiebedarf und damit zu sinkenden Heizkosten.

Nachteile

- › Hohe Investitionen für Eigentümer*innen und lange Abschreibungszeiträume. Daher sind energetische Sanierungen für ältere Personen nicht immer attraktiv.

Folgen

- › Im Bestand können Sanierungsmaßnahmen den Energiebedarf von Gebäuden senken.

Versorgungssicherheit

Energetische Sanierungen sorgen für eine Reduktion des Energiebedarfs. Dadurch sinkt der Verbrauch fossiler Rohstoffe und zukünftig erneuerbarer Ressourcen und Energieträger. Damit werden Abhängigkeiten im Sinne einer Resilienz reduziert.

Akteur*innen

- › Hauseigentümer*innen

Literatur

- [1] **Kopernikus-Projekt Ariadne (2021):** Deutschland auf dem Weg zur Klimaneutralität 2045. https://ariadneprojekt.de/media/2022/02/Ariadne_Szenarienreport_Oktober2021_corr0222.pdf
- [2] **Prognos et al. (2021):** Klimaneutrales Deutschland 2045. <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/klimaneutrales-deutschland-2045/>
- [3] **Deutsche Energie-Agentur (2021):** dena-Leitstudie Aufbruch Klimaneutralität. <https://www.dena.de/newsroom/publikationsdetailansicht/pub/abschlussbericht-dena-leitstudie-aufbruch-klimaneutralitaet/>
- [4] **Fraunhofer ISI et al. (2021/2023):** Langfristszenarien für die Transformation des Energiesystems in Deutschland 3. <https://www.langfristszenarien.de>
- [5] **BDI (2021):** Klimapfade 2.0. <https://bdi.eu/publikation/news/klimapfade-2-0-ein-wirtschaftsprogramm-fuer-klima-und-zukunft/>
- [6] **Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz:** Energiedaten: Gesamtausgabe, zuletzt aufgerufen am: 03.05.2023. <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Energie/energiedaten-gesamtausgabe.html>
- [7] **Bundesregierung:** Information zur Novelle des BEHG, zuletzt aufgerufen am: 03.05.2023. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/CO2-preis-kohle-abfallbrennstoffe-2061622>
- [8] **Umweltbundesamt:** Entwicklung und Zielerreichung der Treibhausgasemissionen in Deutschland im Sektor Gebäude des Klimaschutzgesetzes, zuletzt aufgerufen am: 03.05.2023. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen>
- [9] **European Parliament:** Revision of the EU emission trading system (ETS), zuletzt aufgerufen am: 24.08.2023. [https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-revision-of-the-eu-emission-trading-system-\(ets\)](https://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-a-european-green-deal/file-revision-of-the-eu-emission-trading-system-(ets))
- [10] **Bundesinstitut für Berufsbildung:** QuBe-Datenportal Ergebnisse, zuletzt aufgerufen am: 21.01.2023. https://www.bibb.de/de/qube_datenportal_ergebnisse.php?lang%3DDE%26view%3DZR%26bc%3D%26dv%3Dvalue-orig%26icode%3D%26bety%3DBHBF%26co%3D%2Ctr%2C%2C%2Ctr%2C%2C%2C%2C%2C%2C%2C%2C%2C%26gr%3D%26FILE%3Dbasis%26AB%3D01%26PST%3D01%26BE%3D000%26REGIO%3D00%26JAHR%3D15%2C20%2C25%2C30%2C35%2C40
- [11] **Bundesregierung:** Volle Gasspeicher sichern Energieversorgung, zuletzt aufgerufen am: 01.02.2023. <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/gasspeichergesetz-2029266>
- [12] **Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen und Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2022):** 65 Prozent erneuerbare Energien beim Einbau von neuen Heizungen ab 2024, Konzeption zur Umsetzung. https://www.bmwbs.bund.de/SharedDocs/downloads/Webs/BMWSB/DE/veroeffentlichungen/bauen/konzeptpapier-65-prozent-ee.pdf?__blob=publicationFile&v=5
- [13] **Wasserstoff-Kompass (2022):** Auf dem Weg in die deutsche Wasserstoffwirtschaft: Resultate der Stakeholder*innen-Befragung. acatech und DECHEMA, Berlin. https://www.wasserstoff-kompass.de/fileadmin/user_upload/img/news-und-media/dokumente/wasserstoffwirtschaft-2030-2050/Umfragebericht_Langversion.pdf

- [14] **Bundesnetzagentur (2020):** Regulierung von Wasserstoffnetzen. Ergebnisse der Marktkonsultation. Zusammenfassung der Stellungnahmen. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/NetzentwicklungUndSmartGrid/Wasserstoff/Konsultationsbericht.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- [15] **Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW):** G 260 Arbeitsblatt. Gasbeschaffenheit. 09/2021. <https://shop.wvgw.de/G-260-Arbeitsblatt-09-2021/310700>
- [16] **DVGW:** Erstmals 20 Prozent Wasserstoff im deutschen Gasnetz, zuletzt aufgerufen am: 31.01.2023. <https://www.dvgw.de/der-dvgw/aktuelles/presse/presseinformationen/dvgw-presseinformation-vom-28102021-start-h2-beimischung-in-gasnetze>
- [17] **DVGW:** H₂-20, zuletzt aufgerufen am: 03.02.2023. <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2-20/>
- [18] **Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, 19.04.2023:** Bundeskabinett beschließt Novelle des Gebäudeenergiegesetzes – Umstieg auf Heizen mit Erneuerbaren eingeleitet [Pressemitteilung]. <https://www.bmwsb.bund.de/SharedDocs/pressemitteilungen/Webs/BMWSB/DE/2023/04/geg-bmwk.html>
- [19] **Green Planet Energy:** Neuartiger Windgas-Elektrolyseur in Haßfurt startet Testbetrieb, zuletzt aufgerufen am: 16.02.2023. <https://green-planet-energy.de/blog/wissen/windgas/neuartiger-windgas-elektrolyseur-in-hassfurt-startet-testbetrieb/>
- [20] **Juhrich, Kristina (2022):** CO₂-Emissionsfaktoren für fossile Brennstoffe, Aktualisierung 2022. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikationen/cc_28-2022_emissionsfaktoren-brennstoffe_bf.pdf
- [21] **Netze BW:** Wasserstoffinsel Öhringen, zuletzt aufgerufen am: 02.02.2023. <https://www.netze-bw.de/unsernetz/netzinnovationen/wasserstoff-insel>
- [22] Gesetz für den Ausbau erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG 2023). https://www.gesetze-im-internet.de/eeg_2014/
- [23] **Juhrich, Kristina (2016):** CO₂ Emission Factors for Fossil Fuels. Umweltbundesamt. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/co2_emission_factors_for_fossil_fuels_correction.pdf
- [24] **Statista (2023):** CO₂-Ausstoß nach Heizsystem in Deutschland. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/165421/umfrage/co2-ausstoss-nach-heizsystem-in-deutschland/>
- [25] **Fritsche, Uwe R. und Rausch, Lothar (2008):** Bestimmung spezifischer Treibhausgas-Emissionsfaktoren für Fernwärme. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3476.pdf>
- [26] **TH2Eco:** Homepage, zuletzt aufgerufen am: 28.03.2023. <https://www.th2eco.de/>
- [27] **Neue Weststadt Esslingen.** <https://neue-weststadt.de/>
- [28] **Bösbüll Fernwärme:** Homepage, zuletzt aufgerufen am: 28.03.2023. <https://www.bosbuell-fernwaerme.de/>
- [29] **Stadtwerke Kiel:** Unser Küstenkraftwerk, zuletzt aufgerufen am: 28.03.2023. <https://www.stadtwerke-kiel.de/ueber-uns/kuestenkraftwerk>
- [30] **Merten, Frank und Scholz, Alexander (2023):** Metaanalyse zu Wasserstoffkosten und -bedarfen für die CO₂-neutrale Transformation. https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/8344/file/8344_Wasserstoffkosten.pdf

- [31] **Energie-Lexikon:** Kraft-Wärme-Kopplung, zuletzt aufgerufen am: 28.03.2023. https://www.energie-lexikon.info/kraft_waerme_kopplung.html
- [32] **Umweltbundesamt:** Tabelle: Kennzahlen von Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), zuletzt aufgerufen am: 28.03.2023. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energieversorgung/kraft-waerme-kopplung-kwk-im-energiesystem#Techniken>
- [33] **Home Power Solutions:** Unsere Referenzen, zuletzt aufgerufen am: 13.01.2023. <https://www.homepowersolutions.de/referenzen/>
- [34] **Engelmann et al. (2021):** Systemische Herausforderung der Wärmewende, Abschlussbericht. Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-26_cc_18-2021_waermewende.pdf
- [35] **Miller, John A.; Stark, Susanne und Uthoff, Felix (2020):** Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung. AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., Frankfurt am Main. <https://www.agfw.de/energiewirtschaft-recht-politik/energie-wende-politik/system-kwk-fernwaerme/waermequelle-abwaerme>
- [36] **AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (2020):** Leitfaden zur Erschließung von Abwärmequellen für die Fernwärmeversorgung. https://www.gruene-fernwaerme.de/fileadmin/Redakteure/gruene-fernwaerme/02_Das_Netzwerk/Netzwerk_Karte/AGFW/210401_Abw%C3%A4rmeleitfaden_Langfassung.pdf
- [37] **Doderer et al. (2019):** Abwärmenutzung in Unternehmen. https://www.ikem.de/wp-content/uploads/2019/06/Abw%C3%A4rmestudie-BW_final_25.06.2019.pdf
- [38] **Bluhm, Hannes und Heinbach, Katharina (2022):** Geschäftsmodelle für Power-to-Gas und Power-to-Liquid. Schriftenreihe des IÖW, 221, 22. https://www.ioew.de/fileadmin/user_upload/BILDER_und_Downloaddateien/Publikationen/Schriftenreihen/IOEW_SR_221_Geschäftsmodelle_fuer_Power-to-Gas_und_Power-to-Liquid.pdf
- [39] **Knodt et al. (2022):** Mehr Kooperation wagen: Wasserstoffgovernance im deutschen Föderalismus. Interterritoriale Koordination, Planung und Regulierung. Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam. https://ariadneprojekt.de/media/2022/02/Ariadne-Analyse_Wasserstoffgovernance_Februar2022.pdf
- [40] **Nationaler Wasserstoffrat (2021):** Wasserstoff Aktionsplan Deutschland 2021–2025. https://www.wasserstoffrat.de/fileadmin/wasserstoffrat/media/Dokumente/2021-07-02_NWR-Wasserstoff-Aktionsplan.pdf
- [41] **IN4climate.NRW (2022):** 9 Eckpunkte zur Beschleunigung von Genehmigungsverfahren in der energieintensiven Grundstoffindustrie. https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2022/Eckpunkte-zur-Beschleunigung-Genemigungsverfahren.pdf
- [42] **Umweltbundesamt (2020):** Heizen mit Holz. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/heizen-holz>
- [43] **Fehrenbach et al. (2022):** The Missing Limb: Including Impacts of Biomass Extraction on Forest Carbon Stocks in Greenhouse Gas Balances of Wood Use, Forests, 13(3), 365. <https://doi.org/10.3390/f13030365> DOI: 10.3390/f13030365
- [44] **Öko-Institut, 01.08.2022, RED III-Methodik:** In der Treibhausgasbilanz für Energieholz fehlt ein wichtiger Aspekt der IPCC-Regeln [Blogbeitrag]. <https://blog.oeko.de/red-iii-methodik-in-der-treibhausgasbilanz-fuer-energieholz-fehlt-ein-wichtiger-aspekt-der-ipcc-regeln/>

- [45] **Lenz et al. (2020):** Status and Perspectives of Biomass Use for Industrial Process Heat for Industrialized Countries, *Chemical Engineering & Technology*. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000077> DOI: 10.1002/ceat.202000077
- [46] **Österreichischer Biomasseverband (2023):** Energieträgerverlauf. https://www.biomasseverband.at/wp-content/uploads/Energietraegerverlauf_2023_05.pdf
- [47] **Smith, Pete und Bustamante, Mercedes (2014):** Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU). In Intergovernmental Panel on Climate Change, AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Kapitel 11, 811-922. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter11.pdf
- [48] **Environmental Protection Agency (2014):** Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/emission-factors_2014.pdf
- [49] **Zheng et al. (2022):** Carbon Footprint Analysis for Biomass-Fueled Combined Heat and Power Station: A Case Study, *Agriculture*, 12(8), 1146. <https://doi.org/10.3390/agriculture12081146> DOI: 10.3390/agriculture12081146
- [50] **Memmler et al. (2017):** Emissionsbilanz erneuerbarer Energieträger. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2017-10-26_climate-change_23-2017_emissionsbilanz-ee-2016.pdf
- [51] **Klein et al. (2016):** Der »Carbon Footprint« von Wärme aus Holz, LWF aktuell, 1/2016. https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/waldbau-bergwald/dateien/a108_der_carbon_footprint_von_waerme_aus_holz_gesch.pdf
- [52] **Umweltbundesamt:** CO₂-Emissionen pro Kilowattstunde Strom steigen 2021 wieder an, zuletzt aufgerufen am: 06.02.2023. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/co2-emissionen-pro-kilowattstunde-strom-steigen>
- [53] **Umweltbundesamt:** Umweltfreundliches Heizen dank effizienter Wärmepumpe, zuletzt aufgerufen am: 06.02.2023. <https://www.umweltbundesamt.de/umwelttipps-fuer-den-alltag/heizen-bauen/waermepumpe>
- [54] **Buderus; Gastherme:** Kosten 2023 in der Übersicht, zuletzt aufgerufen am: 11.08.2023. <https://www.buderus.de/de/gastherme/kosten>
- [55] **Enpal:** Wärmepumpe Kosten: Aktuelle Preisübersicht 2023, zuletzt aufgerufen am: 11.08.2023. <https://www.enpal.de/magazin/waermepumpe-kosten>
- [56] **Buderus:** Die Kosten einer Luft-Wärmepumpe, zuletzt aufgerufen am: 11.08.2023. <https://www.buderus.de/de/waermepumpe/luftwaermepumpe/kosten>
- [57] **Wärmepumpe:** So viel Abstand gilt es zum Nachbarn zu beachten, 15.06.2023, Münchner Merkur. <https://www.merkur.de/wirtschaft/bundeslaender-heizungsgesetz-grunstuecksgrenze-habeck-geg-abstandsregel-n-waermepumpen-installation-brandschutz-92333592.html>
- [58] **Dotzauer et al. (2022):** Kurzstudie zur Rolle von Biogas für ein klimaneutrales, 100 % erneuerbares Stromsystem 2035 (KS_BSKES). DBFZ, Leipzig. https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Studien/Kurzstudie_Biogas_2022.pdf
- [59] **FNR:** Bio-Heizöl, zuletzt aufgerufen am: 11.08.2023. <https://heizen.fnr.de/brennstoffe/bio-heizoel>
- [60] **FNR:** Basisdaten Nachwachsende Rohstoffe, zuletzt aufgerufen am: 11.08.2023. <https://basisdaten.fnr.de/bioenergie/energiedaten>

- [61] **Destatis:** Erdgas- und Stromdurchschnittspreise, zuletzt aufgerufen am: 11.08.2023. https://www.destatis.de/DE/Themen/Wirtschaft/Preise/Erdgas-Strom-Durchschnittspreise/_inhalt.html
- [62] **TECSON:** Heizölpreise heute: Chart Preisentwicklung, zuletzt aufgerufen am: 25.08.2023. <https://www.tecson.de/heizoelpreise.html>
- [63] **Holzpellets.net:** Energiekosten- und CO₂-Vergleich Pellets-Heizöl-Erdgas, zuletzt aufgerufen am: 25.08.2023. <https://www.holzpellets.net/service/energie-vergleichsrechner.php>
- [64] **RENEWA:** Pellets und ihr Verbrauch - wie viele Tonnen werden pro Jahr benötigt? zuletzt aufgerufen am: 25.08.2023. <https://www.energieheld.de/heizung/holzheizung/pelletheizung/pellet-verbrauch>
- [65] **Technologie- und Förderzentrum im Kompetenzzentrum für Nachwachsende Rohstoffe:** Aktuelle Scheitholzpreise, zuletzt aufgerufen am: 25.08.2023. <https://www.tfz.bayern.de/festbrennstoffe/energetischenutzung/035134/index.php>
- [66] **Frontier Economics (2017):** Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. Im Auftrag von Agora Energiewende und Agora Verkehrswende. https://www.agora-energiewende.de/fileadmin/Projekte/2017/SynKost_2050/Agora_SynCost-Studie_WEB.pdf
- [67] **dena Deutsche Energie-Agentur (2021):** Branchenmonitor Biomethan. https://www.dena.de/fileadmin/dena/Publikationen/PDFs/2021/dena-ANALYSE_Branchenbarometer_Biomethan_2021.pdf
- [68] **Bosch:** Hochtemperatur-Brennstoffzellensysteme, zuletzt aufgerufen am: 25.08.2023. <https://www.bosch.com/de/forschung/know-how/erfolgsgeschichten/hochtemperatur-brennstoffzellensysteme/>
- [69] **Verbraucherzentrale:** Fernwärme: Kosten sparen und gleichzeitig das Klima schonen, zuletzt aufgerufen am: 25.08.2023. <https://www.verbraucherzentrale.de/wissen/energie/heizen-und-warmwasser/fernwaerme-kosten-sparen-und-gleichzeitig-das-klima-schonen-34038>



Beteiligte Institutionen



acatech Deutsche Akademie der Technikwissenschaften e.V.

acatech berät Politik und Gesellschaft, unterstützt die innovationspolitische Willensbildung und vertritt die Technikwissenschaften international. Ihren von Bund und Ländern erteilten Beratungsauftrag erfüllt die Akademie unabhängig, wissenschaftsbasiert und gemeinwohlorientiert. acatech verdeutlicht Chancen und Risiken technologischer Entwicklungen und setzt sich dafür ein, dass aus Ideen Innovationen und aus Innovationen Wohlstand, Wohlfahrt und Lebensqualität erwachsen. acatech bringt Wissenschaft und Wirtschaft zusammen. Die Mitglieder der Akademie sind herausragende Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den Ingenieur- und den Naturwissenschaften, der Medizin sowie aus den Geistes- und Sozialwissenschaften. Die Senatorinnen und Senatoren sind Persönlichkeiten aus technologieorientierten Unternehmen und Vereinigungen sowie den großen Wissenschaftsorganisationen. Neben dem acatech FORUM in München als Hauptsitz unterhält acatech Büros in Berlin und Brüssel.

www.acatech.de



DECHEMA Gesellschaft für Chemische Technik und Biotechnologie e.V.

Die DECHEMA ist das kompetente Netzwerk für chemische Technik und Biotechnologie in Deutschland. Sie vertritt als gemeinnützige Fachgesellschaft diese Gebiete in Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft. Die DECHEMA fördert den technisch-wissenschaftlichen Austausch von Fachleuten unterschiedlicher Disziplinen, Organisationen und Generationen und bündelt das Know-how von über 5.500 Einzel- und Fördermitgliedern. Sie engagiert sich in (inter-)nationalen technischen Expertengremien und ist in öffentlich geförderten F&E-Projekten sowie der Auftragsforschung aktiv. Dabei koordiniert sie große Forschungsverbände und ist in verschiedenen Fördermaßnahmen für die Begleitforschung verantwortlich.

www.dechema.de

Autor*innen

- > **Dr. Jens Artz**
Teamleiter DECHEMA
- > **Dr. Benjamin Baur**
Referent Stakeholder-Dialog acatech
- > **Marie Biegel**
Studentische Hilfskraft acatech
- > **Dr. Dominik Blaumeiser**
Wissenschaftlicher Referent DECHEMA
- > **Jasper Eitze**
Teamleiter acatech
- > **Dr. Alexandra Göbel**
Wissenschaftliche Referentin DECHEMA
- > **Tamara Hanstein**
Wissenschaftliche Referentin DECHEMA
- > **Dr. Christopher Hecht**
Wissenschaftlicher Referent ISEA RWTH Aachen University / acatech
- > **Thomas Hild**
Wissenschaftlicher Referent DECHEMA
- > **Florian Hölting**
Wissenschaftlicher Referent ISEA RWTH Aachen University / acatech
- > **David Knichel**
Wissenschaftlicher Referent acatech
- > **Valerie Kwan**
Referentin Stakeholder-Dialog acatech
- > **Jördis Lemke**
Teamassistentin acatech
- > **Dr. Michaela Löffler**
Wissenschaftliche Referentin DECHEMA
- > **Dr. Andrea Lübcke**
Teamleiterin acatech
- > **Alena Müller**
Referentin Stakeholder-Dialog acatech
- > **Lars Ole Reimer**
Redakteur Multimedia acatech
- > **Dr. Damien Rolland**
Wissenschaftlicher Referent DECHEMA
- > **Anna Runkel**
Studentische Hilfskraft acatech
- > **Emre Yildirim**
Studentische Hilfskraft acatech

Ansprechpartner*innen acatech

- > **Jasper Eitze**
eitze@acatech.de
- > **Dr. Andrea Lübcke**
luebcke@acatech.de

Ansprechpartner*innen DECHEMA

- > **Dr. Jens Artz**
jens.artz@dechema.de
- > **Dr. Michaela Löffler**
michaela.loeffler@dechema.de



WASSERSTOFF KOMPASS

IMPRESSUM

Wasserstoff-Kompass
- Handlungsoptionen für die Wasserstoffwirtschaft

Herausgebende

**acatech – Deutsche Akademie
der Technikwissenschaften e.V.**

Geschäftsstelle
Karolinenplatz 4
80333 München
T +49 (0) 89 / 52 03 09-0
F +49 (0) 89 / 52 03 09-900
info@acatech.de
www.acatech.de

**DECHEMA Gesellschaft für
Chemische Technik und Biotechnologie e.V.**

Theodor-Heuss-Allee 25
60486 Frankfurt am Main
T +49 (0) 69 / 75 64-0
info@dechema.de
www.dechema.de

Geschäftsführendes Gremium des Präsidiums / acatech

Prof. Dr. Ann-Kristin Achleitner, Prof. Dr. Ursula Gather,
Dr. Stefan Oschmann, Manfred Rauhmeier,
Prof. Dr. Christoph M. Schmidt, Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber,
Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner
Vorstand i.S.v. § 26 BGB:
Prof. Dr.-Ing. Johann-Dietrich Wörner,
Prof. Dr.-Ing. Thomas Weber, Manfred Rauhmeier

Verantwortlicher im Sinne des Presserechts

Dr. Jens Artz, DECHEMA

Redaktion

Jasper Eitze, Dr. Andrea Lübcke / acatech
Dr. Jens Artz, Dr. Michaela Löffler / DECHEMA

Gestaltung und Satz

Lindner & Steffen GmbH, www.lindner-steffen.de

Bildnachweis

AdobeStock: lightpoet

Die Projektpartner danken dem Bundesministerium
für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) sowie dem
Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
für die finanzielle Unterstützung des Vorhabens
(FKZ 03EWT002).

Betreut wurde das Projekt durch den Projektträger Jülich.

Erschienen im März 2024 in Frankfurt am Main

1. Auflage

ISBN 978-3-89746-245-8

www.wasserstoff-kompass.de

Empfohlene Zitierweise

acatech, DECHEMA (Hrsg.): Wasserstoff-Kompass
- Handlungsoptionen für die Wasserstoffwirtschaft,
Frankfurt am Main 2023, ISBN: 978-3-89746-245-8
<https://www.wasserstoff-kompass.de/handlungsfelder#>



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages